



## **Tingkærvad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår**

**Svensden, L.M.; Sortkjær, O.; Ovesen, N.B.; Skriver, J.; Larsen, S.E.; Pedersen, Per Bovbjerg; Rasmussen, Richard Skøtt; Dalsgaard, Anne Johanne Tang**

*Publication date:*  
2008

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Svensden, L. M., Sortkjær, O., Ovesen, N. B., Skriver, J., Larsen, S. E., Pedersen, P. B., Rasmussen, R. S., & Dalsgaard, A. J. T. (2008). *Tingkærvad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår*. Danmarks Fiskeriundersøgelser. DTU Aqua-rapport No. 187-08  
[http://www.aqua.dtu.dk/Publikationer/Forskningsrapporter/Forskningsrapporter\\_siden\\_2008](http://www.aqua.dtu.dk/Publikationer/Forskningsrapporter/Forskningsrapporter_siden_2008)

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Tingkærvad Dambrug**

## **- et modeldambrug under forsøgsordningen**

### **Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet**

### **med væsentlige resultater fra første måleår**

Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet  
Ole Sortkjær, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet  
Niels Bering Ovesen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet  
Jens Skriver, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet  
Søren Erik Larsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet  
Per Bovbjerg Pedersen, DTU Aqua  
Richard Skøtt Rasmussen, DTU Aqua  
Anne Johanne Tang Dalsgaard, DTU Aqua

**DTU Aqua**  
Nordsøen Forskerpark  
9850 Hirtshals  
April 2008

## 0 Sammenfatning

De samlede miljømæssige fordele ved modeldambrug er mangetallige, som blandt andet oplistet vedrørende især uhindret faunapassage i Dambrugsudvalgets rapport:

Vandløbet	Dambruget
<p><b>Fordele:</b></p> <p>"Død å"-strækning fjernes</p> <p>Øget vandføring i dambrugen omløb</p> <p>Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</p> <p>Naturlige variationer i vandløbets vandføring opretholdes i omløbene</p> <p>Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres</p> <p>Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</p> <p>Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</p> <p>Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</p> <p>Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Ingen</p>	<p><b>Fordele:</b></p> <p>Stabile produktionsforhold</p> <p>Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</p> <p>Øget effekt af renseforanstaltninger</p> <p>Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</p> <p>Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</p> <p>Reduceret smittepres</p> <p>Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</p> <p>Bedre arbejdsmiljø</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</p> <p>Øget udledning af CO<sub>2</sub></p> <p>Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</p> <p>Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</p> <p>Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

Der er tidligere udgivet en statusrapport for det første måleår ved Tingkærvad Dambrug (Svendsen *et al.*, 2007). I denne statusrapport, som omhandler andet driftsår for Tingkærvad Dambrug som modeldambrug, beskrives de opnåede resultater fra monitoringsprojektets måle- og dokumentationsprogram, der har til formål at fremskaffe dokumentation for dambrugenens rensning og udledning af næringsstoffer og organisk stof. Der er medtaget en række væsentlige resultater fra år 1 for at kunne sammenligne resultater mellem de to måleår. Der er også medtaget resultater fra første måleår for emner, som ikke blev medtaget i statusrapporten for det første måleår. Endvidere er medtaget resultater fra første måleår, hvor der er lavet korrektioner ift. indhold af kvælstof og fosfor i fisk og for produktionsbidraget af COD og BI<sub>5</sub> og forholdet mellem disse. Dette har medført justeringer i produktionsbidraget og hermed i beregnede rensgrader og udlederkontrollen ift. statusrapporten for første måleår, men ændrer ikke væsentligt ved de overordnede resultater for det første måleår. Der drages nogle konklusioner for resultaterne for de

to måleår på dambruget. Hermed kan og bør denne status rapport for andet måleår også anvendes som en samlet rapportering for de væsentligste resultater for de to måleår under forsøgsordningen for Tingkærvad Dambrug.

### Produktionsforhold

Tingkærvad Dambrug har i perioden 16. august 2006 til 15. august 2007 anvendt 375,6 tons foder med en beregnet produktion på 427,3 tons fisk (inkl. døde). Dette giver en samlet foderkvotient (alene baseret på tal i produktionsanlæggene) på 0,879.

Anlægget og driften heraf har været stabil i andet driftsår, hvor man har draget nytte af den allerede indhøstede erfaring med anlægget.

### Vandforbrug

Tingkærvad Dambrug indtager nu vand alene fra borer og kildevæld, hvorfor opstemning og spærringer i vandløbet ikke længere er nødvendigt. Stemmeværket er derfor blevet fjernet. Hertil kommer, at vandforbruget i forbindelse med betydelig recirkulering (recirkuleringsgrad ca. 97 %) er nedsat fra før ca. 780 l/s til nu 37 l/s hhv. 38 l/s i de to måleår (knap 5 % af før). Til dette stærkt reducerede vandforbrug er der i øvrigt knyttet en indsivning til plantelagunen på 7,4 l/s det første og noget mindre - 3,5 l/s - andet måleår, inden dambrugets afløb til Vejle Å.

### Rensegrader

Ved forarbejdet til bekendtgørelse om modeldambrug m.v. blev der forudsat nogle rensegrader for organisk stof og næringsstoffer på modeldambrug. En sammenstilling af de i bekendtgørelsen for modeldambrug forudsatte og de opnåede nettorensgrader i begge måleår på Tingkærvad Dambrug ser således ud:

	Forventet	Opnået 1. år	Opnået 2. år
<b>Organisk stof (BI<sub>5</sub>)</b>	75 %	93 %	97 %
<b>Total kvælstof (inkl. omsætning plantelaguner)</b>	25 %	42 %	47 %
<b>Total Fosfor</b>	60 %	64 %	61 %

I det ovennævnte indgår et mindre nettostofbidrag fra det til plantelagunen indsvende vand, således at den reelle rensegrad formentlig er lidt højere. Dette ændrer dog ikke ved, at de opnåede rensegrader for alle parametre er bedre end de forudsatte, med især fjernelsen af organisk stof som bemærkelsesværdig høj. Produktionsanlægget med dets slamkegler og biofiltre fjerner netto især organisk stof, fosfor og ammoniumkvælstof, men kun i mindre grad total kvælstof (ammonium omsættes til nitrat). Plantelagunerne fjerner effektivt tilført organisk stof og ca. halvdelen af tilført nitrat-kvælstof, men intet ammonium-kvælstof. Der fjernes ca. 25 % af tilført total-fosfor, idet 80 % af det partikulære fosfor fjernes mens orthofosfat ikke fjernes (stiger lidt) under passagen.

Det formodes, at der tilføres fosfor fra såvel sedimentet som fra indsvende vand stammende fra både væld og nedsivende afløbsvand fra sættefiskeanlægget.

## Specifik udledning

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelse for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t  $\text{BI}_5$ , 1.119 t total-N og 90 t total-P ved en produktion på 29.434 t ørreder, svarende til gennemsnitlige specifikke udledninger som angivet i nedenstående tabel:

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)			Tingkærvad Dambrug i % af gennemsnit DK	
	Gennemsnit	Tingkærvad d.	Tingkærvad d.	År 1	År 2
	Danmark	- 1. måleår	- 2. måleår		
Organisk stof	105,3	5,3	2,6	5	3
Total-N	38,0	23,7	20,8	62	55
Total-P	3,1	2,0	1,4	65	45

Som det fremgår, er der reduceret specifik udledning af alle parametre, men især organisk stof reduceres meget markant sammenlignet med gennemsnittet af danske ferskvandsdambrug. Den specifikke udledning af fosfor er mindre år 2 trods en lavere rensegraf for fosfor over dambruget, hvilket skyldes et lavere fosforindhold i foderet år 2.

## Overholdelse af udlederkrav jvf. Vejle Amts miljøgodkendelse

I miljøgodkendelsen har Vejle Amt opstillet en række kontrolparametre med tilhørende kravværdi.

Kontrol-parameter	Kravværdi i Miljøgodkendelse ( $\text{mg l}^{-1}$ )	Udledning efter Bekendt. om mo- deldambrug – År 1 ( $\text{mg l}^{-1}$ )	Udledning efter Be- kendt. om modeldam- brug – År 2 ( $\text{mg l}^{-1}$ )
Susp. Stof	40,5	1,81	1,33
$\text{NH}_4$	5,39	5,44	6,79
Total-N	8,09	6,53	8,62
Total-P	0,67	0,630	0,567
$\text{BI}_5$	9,44	1,45	1,18

Kravværdierne kompenserer ikke fuldt ud for det reducerede vandforbrug på dambruget, der er generelt sket en reduktion på 7 % i værdierne. Som det fremgår, overholdes, beregnet efter modeldambrugsbekendtgørelsen, kravene for alle parametre undtagen for ammonium-kvælstof (begge år) og total -kvælstof (2. måleår), hvor der er en mindre overskridelse.

## Fauna og faunaindex

Dansk Vandløbs Fauna Index (DVFI) er opgjort således:

	Vejle Å, opstrøms	Vejle Å, mid- terste station	Vejle Å, nedstrøms
Maj 2004	6	4	5
December 2004	4	4	5
Maj 2005	6	4	4
September 2005	4	4	4
November 2005	6	4	3
Maj 2006	4	4	4
Juni 2006	5	5	5
Oktober 2006	5	4	4
December 2006	5	4	4
Juni 2007	5	4	3
Oktober 2007	6	4	5

Målsætningen i Vejle Å op- og nedstrøms Tingkærvad Dambrug som er DVFI 5 med en optimal faunaklasse på 7, har været opfyldt 8 af 11 gange opstrøms dambruget, 1 gang på en strækning nedstrøms Kobbervæk Dambrugs udløb men opstrøms Tingkærvad Dambrugs udløb og opfyldt 4 ud af 11 gange nedstrøms begge dambrug ved vandløbsbedømmelser i perioden maj 2004 til oktober 2007.

Tolkningen af ændringer i faunasammensætningen ved Tingkærvad Dambrug er således vanskelig, dels fordi Vejle Å opstrøms dambruget har en fauna af forureningstolerante former med kun få rentvandsarter idet der er en række forureningskilder opstrøms Tingkærvad Dambrug, der påvirker faunaen i Vejle Å på strækningen, og dels fordi Kobbervæk dambrug har udløb opstrøms Tingkærvad dambrugs udløb. Samtidigt er de fysiske forhold nedstrøms dambruget ændret grundet fjernelse af den opstrøms opstemning, der har medført sandvandring og sandaflejring nedstrøms dambruget.

### Diskussion og primære udeståender

De opnåede rensegrader og den resulterende lave specifikke udledning for suspenderet og organisk stof ser meget lovende ud og har været klart bedre end forudsat. For fosfor er rensningen lige over det forudsatte, men kan formentlig forbedres. For kvælstof, her især ammoniumkvælstof er der behov for en forstærket indsats. Rensning for kvælstof kan blive afgørende for evt. at kunne opnå øget foderforbrug.

Det er vigtigt, at indretning og drift sikrer bedre omdannelse af ammonium til nitrat i produktionsanlægget, evt. suppleret med særskilt biofilter på afløbsvandet til plantelagunen. Det er herefter vigtigt, at lagunens omdannelse af nitrat til frit kvælstof maksimeres. En forøget opholdstid og evt. et større laguneareal vil kunne bidrage positivt hertil.

En del af den stofmængde, der føres over i slambassinerne fra produktionsanlæggets slamkegler og biofilter transporteres igen med klaringsvandet til plantelagunerne. Det synes derfor at kunne være hensigtsmæssigt at øge stoftilbageholdelsen i slambassinerne, især for så vidt angår fosfor.

Vandindtrængningen i plantelagunen påvirker beregningen af nogle af rensegraderne, der nok bliver lidt undervurderede, idet især opløste

stoffer som ammonium og orthofosfat kan trænge med vandet ind i plantelagunen og dermed skal disse mængder også renses fra eller udledes. Da der er nedsivning af vand fra afløb fra et sættefiskeanlæg i nærheden af plantelagunen, kan noget stof herfra indsive i denne.

# 1 Indledning

Som et af resultaterne fra det af fødevareministeriet nedsatte dambrugsudvalg (Udvalget vedr. dambrugserhvervets udviklingsmuligheder) blev der i dette udvalgs rapport, marts 2002 (*Dambrugsudvalget, 2002*), peget på muligheden af etablering af mere ensartede typedambrug eller såkaldte modeldambrug.

Det ensartede koncept i modeldambrugene skulle muliggøre, at dokumentation samt viden og erfaring indhentet herpå, kunne finde anvendelse på andre modeldambrug af samme type, således at såvel drift som sagsbehandling, tilladelser m.v. kunne smidiggøres.

I såvel sideløbende som efterfølgende arbejder (eks.: Pedersen P.B. et al. 2003; Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B.; 2004) samt notater og Bekendtgørelser (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002* og *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug, 2004*) er de nærmere specifikationer og krav til modeldambrug blevet defineret og fastlagt.

Tre typer modeldambrug er beskrevet (type 1, 2 og 3), hvor der for type 2 og 3 er åbnet for en deltagelse under en 2-årig forsøgsordning, i hvilken periode monitoring af den resulterende miljømæssige effekt skulle måles.

Ingen dambrug har ønsket ombygning til type 2 under forsøgsordningen, mens 8 dambrug af type 3 blev udvalgt til deltagelse i denne. Tingkæravad Dambrug er et af disse.

Det skal understreges, at listen over miljømæssige fordele ved modeldambrugsdrift er lang, som opgjort i Dambrugsudvalgets rapport jvnf. nedenstående tabel.

Disse miljømæssige fordele opnås under alle omstændigheder ved etablering af modeldambrug. Formålet med monitoringsprojektet er således alene at udvikle og gennemføre et specificeret måleprogram for modeldambrug, baseret på kravene om målinger i Miljøministeriets "*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*" og "*Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004)*") for derigennem at fremskaffe den fornødne dokumentation for dambrugenens rensning samlet og for de enkelte renseforanstaltninger og for udledning af næringsstoffer og organisk stof, herunder for overholdelse af udlederkravene. Ifølge bekendtgørelse skal DMU (tidligere under Miljøministeriet nu under Århus Universitet) og DFU som har ændret navn til DTU Aqua opstille et måleprogram, der skal tilvejebringe den omtale dokumentation.

De 8 modeldambrug monitoreres derfor løbende af DMU og DTU Aqua over en 2-årig driftsperiode. På nogle dambrug måles der over alle de forskellige dele af dambruget, de såkaldte intensivt monitorerede dambrug, som Tingkæravad Dambrug hører til, mens der på øvrige måles over hele produktionsanlægget. Dette arbejde er blevet udført på baggrund af bevilling fra Fødevareministeriets Direktorat for FødevareEr-



hverv via FIUF- midler, og er således støttet med 50 % fra den Danske Stat og 50 % fra EU. Der takkes hermed for den tildelte bevilling.

Vandløbet	Dambruget
<p><b>Fordele:</b></p> <p>"Død å"-strækning fjernes</p> <p>Øget vandføring i dambrugen omløb</p> <p>Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</p> <p>Naturlige variationer i vandløbs vandføring opretholdes i omløbene</p> <p>Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres</p> <p>Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</p> <p>Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</p> <p>Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</p> <p>Fald i vandløbs iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Ingen</p>	<p><b>Fordele:</b></p> <p>Stabile produktionsforhold</p> <p>Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</p> <p>Øget effekt af renseforanstaltninger</p> <p>Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</p> <p>Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</p> <p>Reduceret smittepres</p> <p>Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</p> <p>Bedre arbejdsmiljø</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</p> <p>Øget udledning af CO<sub>2</sub></p> <p>Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</p> <p>Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</p> <p>Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

Dokumentations- og monitoringsprojekt følges af en følgegruppe bestående af:

Niels Axel Nielsen, Fmd., direktør for Myndighedsbetjening og Sektorudvikling DTU (tidl.: direktør Danmarks Fiskeriundersøgelser)

Torben Moth Iversen, projektchef DMU, Århus Universitet (tidl. vicedirektør DMU)

Mette Selchau, Fødevareministeriet; erstattede august 2007 Knud Larsen, Fødevareministeriet

Thomas Bjerre Larsen, Miljøstyrelsen; erstattede august 2007 Gitte Larsen, Skov- og Naturstyrelsen

Henrik Haahr, Direktoratet for FødevareErhverv; erstattede januar 2007 Lars Christensen Clink, Direktoratet for FødevareErhverv

Jens Ole Frier, Ålborg Universitet

Jacob Larsen, Holstebro Kommune (tidl.: Ringkjøbing Amt)

Lenny Stolborg, Ikast-Brande Kommune; erstattede januar 2007 Henning Christiansen, Ribe Amt

Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur

Helge A. Thomsen, forskningschef DTU Aqua (tidl.: Danmarks Fiskeriundersøgelser)

samt Per Bovbjerg Pedersen, sektionschef DTU Aqua (tidl.: Danmarks Fiskeriundersøgelser) og Lars M. Svendsen, projektchef Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet.

I juni 2008 udgives en samlet faglig rapport, der kommer med en samlet status og konklusioner over 2 års drift og målinger på de 8 modeldambrug. Heri foretages sammenligninger på tværs af dambrugene og gives nogle anbefalinger. Nærværende statusrapport indeholder derimod alene målinger for Tingkærvad Dambrug.

Sluttelig skal der lyde en stor tak til alle andre involverede personer, institutioner m.v. som på hver sin vis har bidraget i det store arbejde. Specifikt takkes dambrugsejer Jens Grøn og hans medarbejdere på dambrug samt teknisk personale ved DMU, Århus Universitet: Uffe Mensberg, Henrik Stenholt, Ane Kjeldgaard, Zdenek Gavor, Marlene Jessen og Carsten Nielsen og ved DTU Aqua (DFU): Tommy Nielsen, Peter Faber, Torben Filt Jensen, Ole Madvig Larsen, Jesper Knudsen, Milan Pavlovic og Erik Poulsen.

## 2 Beskrivelse af dambruget

### 2.1 Indretning

Tingkærvad Dambrug (Dalen 18, 7183 Randbøl) er beliggende ved Vejle Å. Vejle Å har sit udløb i Vejle Fjord, og et samlet opland på ca. 340 km<sup>2</sup>. Ved dambruget er medianminimumvandføringen på 720 / 890 l/s hhv. opstrøms og nedstrøms for dambruget (*Miljøgodkendelse 2004, Vejle Amt*).

Dambruget er indrettet som et modeldambrug type III (*Pedersen et. al., 2003*).

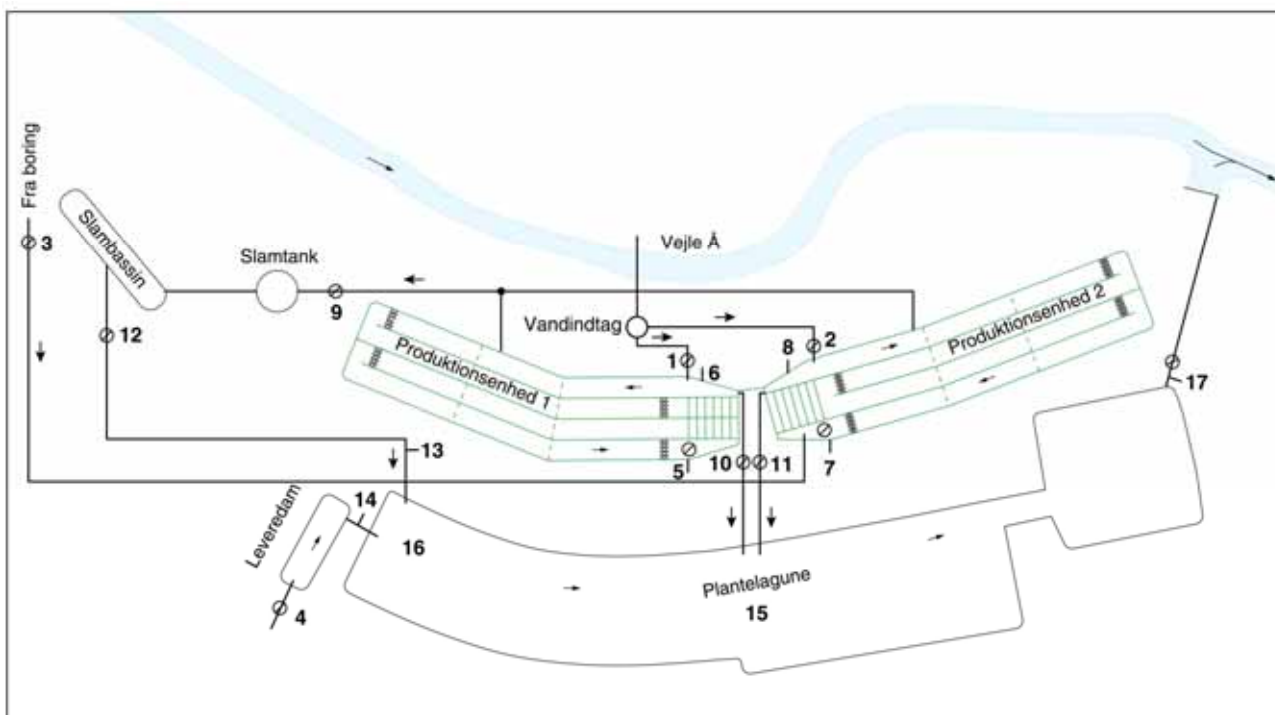
Dambruget består af 2 ens opbyggede produktionsenheder, der hver er underopdelt i 4 sektioner. I hver produktionsenhed ledes det recirkulerede vand igennem et biofilter, der er opdelt i 6 sektioner. Derudover er der en leveredam. Figur 1 er en principskitse af dambrugets opbygning med angivelse af vandflow.

Der er desuden et sættefiske-anlæg tilknyttet anlægget, men driften af denne er aftalt således at der ikke tages af friskvand eller udledes til slambassin eller plantelagunerne og dermed er det ikke inddraget i de efterfølgende beregninger. Som det fremgår senere af rapporten er der dog tilsyneladende en indsivning i plantelagunerne af en andel af det vand, der afledes fra sættefiskeanlægget.

Vandet bringes til at cirkulere i produktionsenhederne via air-lift princippet, hvor den beluftning som tilfører ilt til vandet, også løfter dette nogle centimeter. Beluftningen sker i såkaldte belufter-brønde.

Slam opsamles i pyramideformede slamkegler, som er placeret et antal steder produktionsenhederne i rækker, der dækker hele bunden på tværs. Slammet pumpes sammen med skyllevand fra filtrene op i en slamtank hvorfra vandet ledes videre til et slambassin. Afløbsvand fra produktionsenhederne og klaret vand fra slambassinet ledes til en plantelagune, efter passage af hvilken det efterfølgende løber til åen. Plantelagunen består af en del af de oprindelige jorrdamme, kanaler og bundfældningsbassiner.

Hver produktionsenhed er ca. 70 meter lang og 20 meter bred med en vanddybde på ca. 1,25 meter. Inkl. leveredam, kanaler, slambassiner og filtre er der i alt ca. 4.200 m<sup>3</sup> vand i produktionsanlægget. Plantelagunen har et areal på ca. 4.060 m<sup>2</sup> med en middeldybde på ca. 0,65 m. Totalt har dambruget et vandvolumen på ca. 6.900 m<sup>3</sup>. Med et samlet vandindtag på gennemsnitligt 37,2 l/s i det første måleår og 38,1 l/s i andet (jf. kap. 5) giver det en opholdstid på henholdsvis ca. 53 og 52 timer over dambruget. Opholdstiden for selve produktionsanlægget inkl. leveredam er i begge måleår ca. 31 timer mod en forudsat minimumsopholdstid på 18,5 timer i produktionsanlægget for modeldambrug type III (*Bekendtgørelse som modeldambrug, 2002*).



**Figur 1** Tingkærvad Dambrug, opbygning og vandflow. Nr. angiver målesteder som listet i tabel 1.

## 2.2 Måleprogram og måleperiode

Efter en kort indkøringsfase startede måleprogrammet på Tingkærvad Dambrug som en del af forsøgsordningen officielt den 16. august 2005. Første måleår er derfor fra 16. august 2005 til 15. august 2006 begge dage inklusive, og 2. måleår er fra 16. august 2006 til 15. august 2007.

I hele måleperioden har der kontinuert (hvert 10. minut) været målt vandmængde, vandhastighed, vandstand, nedbør, ilt, temperatur og pH ved en eller flere målepunkter på dambruget (tabel 1). De instrumenter, som måler kontinuert er typisk tilsluttet en datalogger, hvorfra data overføres til en PC som er placeret på dambruget. Data overføres via Internettet fra Pc'en til DTU Aqua og lægges ind i en fælles database som DTU Aqua og DMU anvender i projektet. Vandmængder måles i de fleste målepunkter med en elektronisk måler, et såkaldt vandur. I udløbet fra dambruget er etableret et overfaldsbygværk med rektangulært tværsnit, hvor vandstanden er målt kontinuert, mens der 1 til 2 gange pr. måned er målt og kalibreret med vingemålinger. Vandstand måles dels med tryktransducer, i slambassinerne med en ultralyds måler. Vandhastigheden i produktionsenhederne måles med dobbler-sensor. I *Svensen & Bovbjerg (2004)* findes flere informationer og baggrund og krav til måleprogram og en række tekniske detaljer.

Nr.	Sted på dambruget	Målevariabel
1	Vandindtag fra væld, produktionsenhed 1	K, F, S
2	Vandindtag fra væld, produktionsenhed 2	K*, F, S*
3	Vandindtag fra boring, produktionsenhed 2	K, F, S
4	Vandindtag fra væld, leveredam	F
5	Opstrøms biofilter, produktionsenhed 1	K, H, F, V, S
6	Nedstrøms biofilter/udløb produktionsenhed 1	K, S
7	Opstrøms biofilter, produktionsenhed 2	K, H, F, V, S
8	Nedstrøms biofilter/udløb produktionsenhed 2	K, S
9	Indløb slamtank	K, F, V
10	Udløb produktionsenhed 1	F
11	Udløb produktionsenhed 2	F
12	Klaret slamvand, mellem slamtank og slambassin	F
13	Udløb klaret slamvand	K, S
14	Udløb leveredam	K, S
15	Plantelagune, øvre del	S
16	Plantelagune, midt	S
17	Udløb plantelagune/dambrug	K, F, V, S, N

**Tabel 1.** Oversigt over målepunkter på Tingkærvad Dambrug. Tallene til højere refererer til det konkrete målepunkt på figur 1. Der anvendt følgende forkortelser: K: Prøvetagning for kemiske analyser; F: Vandmængde; H: Vandhastighed; V: Vandstand; N: Nedbør og S: Ilt, pH og temperatur.

Vandkemiske prøver er for indtagsvand (vandet fra både borer og kildevæld) målt som en punktprøve (øjebliksprøve) ca. 1 gang pr. måned (hver 14. dag i begyndelsen) eller i alt 12 gange i perioden. Vandkemiske prøver fra henholdsvis op- og nedstrøms biofilter i de to produktionsanlæg (hvor nedstrøms biofilter svarer til afløb fra de to produktionsanlæg), afløb fra leveredam, i klaringsvandet fra slambassinene samt i afløbet fra plantelagunen (samlet afløb fra dambruget) udtages hver 14. dag med ISCO-glacier vandprøvetagere. En prøve består af en række delprøver, der er puljet over et døgn i en stor flaske. Hver delprøve er på ca. 100 ml som udtages hvert kvarter, svarende til ca. 9,6 l prøve på 24 timer pr. målested. Prøvetageren er udstyret med køleanlæg og prøverne opbevares mørkt. Ved hvert målested er der målt i alt 27 gange i andet måleår.

Der er endvidere hver 14. dag taget vandkemiske prøver i forbindelse med henholdsvis tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre begge opdelt for hver produktionsenhed. Der er ligeledes taget puljede prøver men i 1 liters flasker, hvorfra der puljes til en samlet prøve. Afhængigt af, hvor lang tid det tager at tømme henholdsvis slamkegler og returskylle biofiltre, tages en række hyppige delprøver for repræsentativt at dække hele tidsperioden. Disse prøver tages med ISCO 6712-1 vandprøvetagere, hvori prøverne også står koldt (4° C) og mørkt.

De vandkemiske prøver er analyseret for en række kemiske variable, fastlagt i *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*. Det fremgår af tabel 2, hvilke variable der analyseres for, afhængigt af om vandprøven er taget i indtagsvandet (grundvand), slamvand (ved tømning af slamkegler, returskylning af biofiltre), afløb slambassin eller i produktionsanlæg og afløb fra dambruget. Analyserne er gennemført af akkrediteret laboratorium efter de standardanalysemetoder, der er foreskrevet ift. dambrug, herunder modificeret BI<sub>5</sub>.

Ved de målepunkter, hvor der udtages vandkemiske prøver måles hver 14. dag ilt, temperatur og pH med håndholdte præcisionsinstrumenter, som også anvendes ved kalibrering af de kontinuerte måleinstrumenter.

Parametre	Program A	Program B	Program C
	Fuld pakke: Udløb fra dambrug, op- og nedstrøms biofilter, afløb sættefiskanlæg og leveredamme	Grundvand (indtagsvand)	Returskylning biofiltre, tømning slamkegler, afløb slam-bassiner
Suspenderet stof (SS)	X	(x)	x
Modificeret $BI_5$	x	(x)	x
COD	x	(x)	x
Total fosfor (P)	x	[x]	x
Orthofosfat-P	x	x	x
Total kvælstof (N)	x	[x]	x
Nitrat/nitrit-N	x	x	x
Ammonium-N	x	(x)	x

**Tabel 2** De vandkemiske parametre der analyseres for på de vandkemiske prøver, der er udtaget 1. og 2. måleår på Tingkærø Dambrug. x i parentes angiver at disse parametre efter at være målt nogle gange kun måles 2-3 gange om året hvis det viser sig at værdien konsekvent er under detektionsgrænsen, mens x i kantet parentes viser at total kvælstof henholdsvis total fosfor ikke måles hver gang, hvis der ikke er signifikant forskel på totalen ift. de opløste fraktioner.  $BI_5$  er et mål for let omsætteligt organisk stof (biologisk iltforbrug over 5 dage). COD er et mere omfattende mål for organisk stof end  $BI_5$ , da det er et mål for det kemiske iltbehov for at omsætte det organiske stof. Ammonium er primært  $NH_4-N$ .

## 2.3 Væsentlige vilkår

I henhold til Tingkærø Dambrugs miljøgodkendelse af 25. februar 2004 må der i forsøgsperioden anvendes 356 tons foder pr. år (Vejle Amt, 2004). Foderkvotienten må ikke overstige 0,95.

Miljøgodkendelsen angiver det maksimalt tilladelige vandforbrug til 50 l/s. Vandet indvindes fra borer og kildevæld, samt efterfølgende fra en andel af nabo dambrugs friskvandsforsyning.

Der må maksimalt udledes følgende stofmængder fra modeldambruget:

$BI_5$ :	9,44 mg/l
$NH_4^{+}-N$ :	5,39 mg/l
Suspenderet stof:	40,5 mg/l
Total-N:	8,09 mg/l
Total-P:	0,67 mg/l

Krav til udledning af stofferne er omfattet af tilstandskontrol. Mere detaljerede betingelser for overholdelse af kravene fremgår af dambrugets miljøgodkendelse og omtales i kapitel 7 i denne rapport.

I miljøgodkendelsen er arealet af plantelagunen oplyst til 4.780 m<sup>2</sup>.

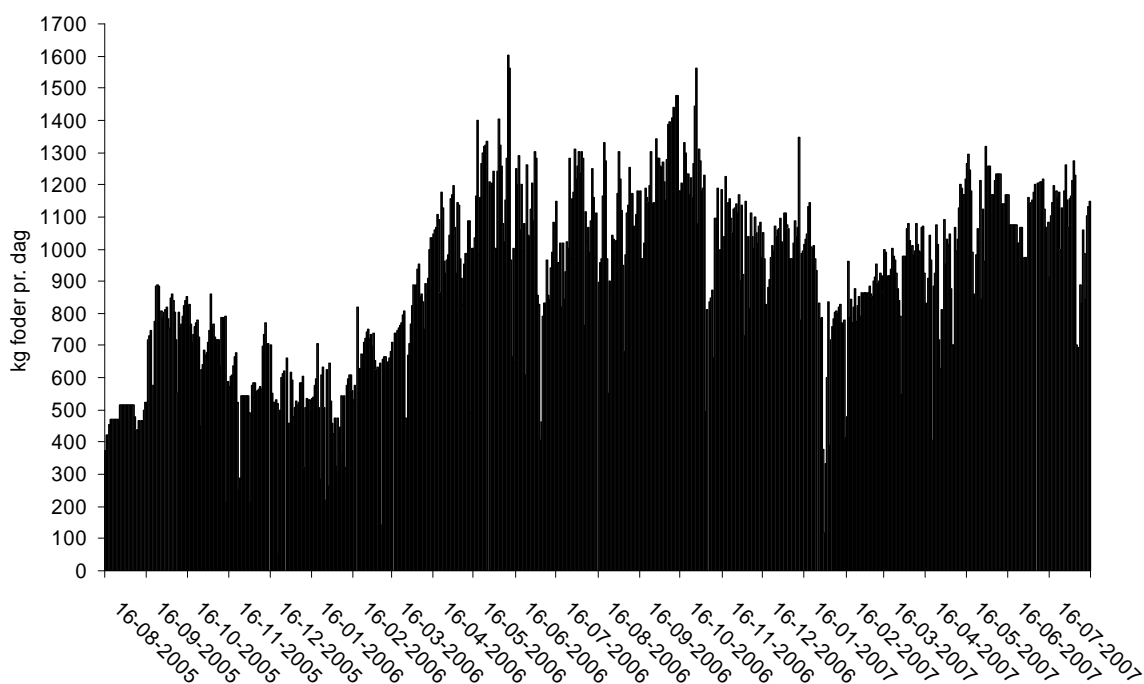
## 3 Drift og produktion

### 3.1 Foderforbrug, produktion og foderkvotient

På Tingkærvad Dambrug blev der i første måleår, dvs. perioden 16. august 2005 til 15. august 2006, anvendt 279,9 tons foder i dambrugets to produktionsanlæg, mens der i andet måleår (16. august 2006 til 15. august 2007) blev anvendt 375,6 tons foder.

På baggrund af oplyste start- og slutbestande, samt ind- og udfiskninger i perioden, blev der beregnet en produktion på 312,3 hhv. 427,3 tons fisk inkl. døde fisk i første og andet måleår. Dette giver en samlet foderkvotient (foderforbrug / fiskeproduktion inkl. døde fisk) på 0,896 i første måleår og 0,879 i andet måleår. Der er der god overensstemmelse ( $\pm 3\%$ ) mellem disse foderkvotienter og dem som dambruget har regnet sig frem til.

I løbet af andet måleår har dambruget tilegnet sig yderligere erfaring i drift af anlægget, herunder drift af biofilteret, slamhåndtering samt optimering af brugen af hjælpepestoffer. Forskellen imellem foderkvotienterne de to måleår skal ses med det forbehold, at der er en vis usikkerhed på beregningerne, idet de beror på en konsekvent registrering af fiske-mængder ind og ud af dammene. Denne registrering har dambrugerne undertiden vanskeligt ved at efterleve, bl.a. på grund af praktiske forhold omkring sortering af fisk mv. på dambruget. Som nævnt er der dog på Tingkærvad Dambrug god overensstemmelse mellem foderkvotienter udregnet af dambruget og i projektet.



**Figur 2** Det samlede foderforbrug i Tingkærvad Dambrugs to produktionsenheder i begge måleår.

De anvendte fodertyper og mængder i dambrugets produktionsanlæg i de to måleår er opsummeret i tabel 3.

Fodertype	Foderforbrug (kg)	
	1. måleår	2. måleår
Aller 45/15 (2 mm)	50	0
Aller Aqua Elips (3 mm)	128.211	0
Biomar Aqualife 90 (3-4,5 mm)	485	0
Biomar Ecolife 19 (3 mm)	126.430*	0
Biomar Ecolife 20 (3-4,5 mm)	24.524*	97.398
Biomar Ecolife 21 (3-4,5 mm)	0	253.844
Biomar Optimal start/C80 (1,5-2 mm)	52	731
Ukendt fodertype (kg)	0	23.601

**Tabel 3** Fodertyper og mængder anvendt i produktionsanlægget på Tingkærvad Dambrug i første og andet måleår. \*Fordelingen på pillestørrelser er justeret ifh. til 1. årsrapporten, men summen af Ecolife-foder er uændret.

## 3.2 Produktionsbidrag

Udregningen af bidrag af forskellige stoffer fra fiskeproduktionen (produktionsbidraget) i de tre produktionsenheder samt sættefiskanlægget er foretaget som beskrevet i *Pedersen et al. (2003)*. Der er udregnet produktionsbidrag for COD (total organisk stof), BI<sub>5</sub> (letomsætteligt organisk stof), total-N (total kvælstof), total-P (total fosfor) og opløst kvælstof, som overvejende er NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (ammoniumkvælstof).

På baggrund af de senest opnåede resultater, er produktionsbidragene blevet revideret ift. værdierne angivet i 1. årsrapporten. Det gennemsnitlige indhold af kvælstof (tot-N) og fosfor (tot-P) i hel regnbueørred er blevet revurderet på baggrund af resultater, som indbefatter den seneste litteratur indenfor området. Således ansættes tallet for kvælstof i hel fisk nu til 2,75 % af fiskens totale vådvægt, og fosforindholdet til 0,43 %. De tidligere anvendte værdier har været henholdsvis 3 % og 0,5 %. Litteraturgennemgangen viser, at indholdet af kvælstof og fosfor i regnbueørred påvirkes af fiskens størrelse, men at størrelseeffekten er lille. Dette gælder især indenfor de fiskestørrelser (ca. 300-800 g), der produceres på modeldambruget. Der er derfor ikke taget højde for konkrete fiskestørrelser i udregningen af produktionsbidrag for kvælstof og fosfor. Samlet betyder justeringerne en mindre stigning i produktionsbidragene af kvælstof og fosfor i forhold til de tidligere udmeldte værdier i førsteårsrapporten. Der udarbejdes særskilte notater om denne problemstilling.

Produktionsbidragene af organisk stof (COD og BI<sub>5</sub>) er også blevet reguleret og opjusteret i forhold til førsteårsrapporten. Årsagen er nye data for det stofbidrag og -tab, der sker direkte til vandfasen enten som opløst eller finpartikulært stof. Der er udført nye undersøgelser på disse tab for den mest anvendte fodertype fra hver af foderproducenterne Aller Aqua, Biomar og Dana Feed (se detaljer i faglig samlerapport). Det bemærkes, at dette tab ikke kan forventes at være permanent for de anvendte fodertyper. Årsagen er, at fiskefoder løbende udvikles og ændres med hensyn til råvarer og sammensætning, og disse forhold vil have be-



tydning for stoftabet til vandfasen og dermed stofbidraget fra fiskeproduktionen.

Udover total-kvælstof bidraget fra fiskeproduktionen udregnes også bidraget af opløst kvælstof som hovedsageligt udskilles over fiskenes gæller (primært  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ). Bidraget svarer til den totale mængde kvælstof som fiskene indtager fradraget det kvælstof som indbygges i fisken (indholdet ansættes til 2,75 %) og det kvælstof, der udskilles i fækalier (partikulært) og dissocieres i vandfasen (opløst), dvs.:

kg N udskilt som opløst ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) =

kg N indtaget – kg N indbygget i fisk – kg N udskilt via fækalier som partikulært/opløst

Udregningen af produktionsbidrag er sket på dagsbasis i hver af dambrugets 24 sektioner i produktionsanlægget, og bidragene er herefter summeret. Udover de konkrete fodermængder er foderets kemiske sammensætning inddraget i udregningerne. Kemisk analyse er foretaget på de fleste foderleverancer (batches), men hvor disse værdier ikke foreligger, er der anvendt gennemsnitstal for de allerede analyserede, repræsentative fodertyper. I få tilfælde, hvor der ikke er foretaget kemisk analyse på fodertypen, er der anvendt deklarerede værdier fra foderproducenten.

I forbindelse med levering/salg er der beregnet et produktionsbidrag af kvælstof på baggrund af generelle tal for stofomsætning hos fodertomme regnbueørreder. Der vurderes kun at være et marginalt bidrag af organisk stof (COD og  $\text{BI}_5$ ) i forbindelse med levering, idet dette forventes udskilt som kuldioksid ( $\text{CO}_2$ ). Ligeledes forventes kun et marginalt fosforbidrag i forbindelse med levering. Bidraget af COD,  $\text{BI}_5$  og tot-P fra leveredam er derfor sat til 0. Produktionsbidraget fremgår af tabel 4.

Måleår	COD	mod. $\text{BI}_5$	Tot-N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Tot-P	Bidraget kommer fra
1	69.228	24.230	12.524	10.559	1.723	Produktionsanlægget
2	92.180	32.263	16.726	14.427	1.509	Produktionsanlægget
1	0	0	189	178	0	I forbindelse med levering
2	0	0	194	183	0	I forbindelse med levering
1	10.706	3.747	1.676	1.413	153	Afsides yngelopdræt
2	11.423	3.998	1.788	1542	163	Afsides yngelopdræt

**Tabel 4** Produktionsbidrag (kg pr. år) fra de enkelte kilder for hvert af de to måleår. Produktionsbidraget fra yngelopdrættet er baseret på et estimeret foderforbrug deri, og er alene medtaget til orientering..

Trods en betydelig stigning i foderforbruget er der et markant fald i produktionsbidraget af fosfor fra produktionsanlægget fra første til andet måleår (tabel 4). Årsagen er især et væsentligt fald i fosforindholdet i det anvendte foder, men også den lidt lavere foderkvotient bidrager til det reducerede fosforbidrag.

Som led i udregningen af produktionsbidrag er der udført fordøjelighedsforsøg på en række af de mest anvendte fodertyper og foderleverancer (batches) til dambrugene i projektet. Princippet i disse kontrollerede forsøg er at undersøge, hvor stor en del af det indtagne foder - specifikt

fedt-, protein- og kulhydrat-indholdet i foderet - der udskilles som fækalier. Disse værdier er indsat i beregningerne af produktionsbidraget for den relevante batch. Hvis batchen ikke er undersøgt mht. fordøjelighed, er der anvendt gennemsnitstal fundet for den relevante fodertype. I enkelte tilfælde, f.eks. i forbindelse med levering af små foder-mængder, er der anvendt estimerede værdier for fordøjeligheden af foderet. Fordøjeligheden af træstof er i alle tilfælde sat til 0.

I andet måleår er der udført fordøjelighedsforsøg på en enkelt foderleverance (batch) til Tingkærvad Dambrug. I den samlede måleperiode er der udført fordøjelighedsforsøg på 13 forskellige foderleverancer til dambruget.

Foderkvotienten er så vidt muligt beregnet for den enkelte sektion. Dette er kun muligt når en sektion tømmes fuldstændigt ved udfiskning. Værdien er indsat i udregningen af den konkrete sektion's produktionsbidrag. De beregnede foderkvotienter er blevet vægtede i forhold til det antal dage foderkvotienten er målt over, og de vægtede værdier er sammensat til et gennemsnit, som er anvendt i de sektioner og perioder hvor det ikke har været muligt at beregne foderkvotienten.

På Tingkærvad Dambrug anvendes der automatisk udfodring, og udfodringen er fordelt over mange timer i løbet af dagen. I august 2007 blev der foretaget en foderspildsundersøgelse på dambruget. I undersøgelsen blev der suget med pumpe på bunden i et område lige efter udløbsristen (før slamkegler), men der blev ikke i nogen tilfælde fundet foderpiller. Pillerne kan dog i et vist omfang blive opløst ved opslugning i filter, om end dette blev forsøgt undgået dels ved jævnlig kontrol af opsamlingen i filteret dels ved skånsom opslugning. I området hvor opslugningen foregik, var der opsat en rende i vandoverfladen til fjernelse af slampartikler fra bunden af opdrætskummen. Ved besigtigelse af renden over en periode kunne der heller ikke her konstateres foderpiller. Dambruget oplyste at man sjældent så foderspild, og at anvendelse af flydefoder havde gjort det nemmere at undgå. I 2007 havde man konkret kendskab til, at der havde været et begrænset foderspild tre gange frem til august måned, og at dette typisk var i forbindelse med sygdom, f.eks. angreb af fiskedråber. På baggrund af de nævnte forhold vurderes det, at der undertiden forekommer foderspild på Tingkærvad Dambrug, men at det sker sjældent og i givet fald har begrænset omfang. Det er overensstemmende med den erfaring, der er indhentet fra andre undersøgelser på modeldambrug under forsøgsordningen.

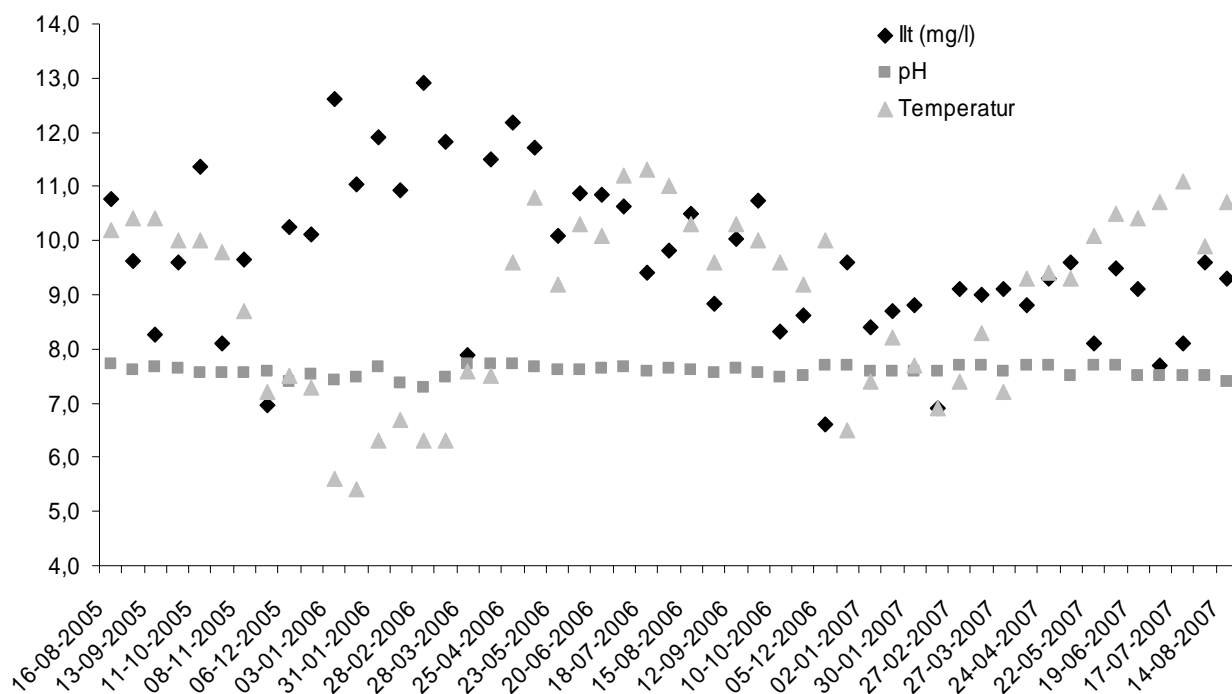
Det tidligere estimat på gennemsnitligt 1 % foderspild på Tingkærvad Dambrug fastholdes. Dette begrundes i, at der forekommer et uundgåeligt foderspild fra fiskefoderet på grund af støv og smuld og at der som nævnt undertiden kan risikeres et mindre foderspild i forbindelse med dambrugsdrift. Dette spild estimeres til i alt 1 %.

## 4 Temperatur, pH og ilt

Der er hvert tiende minut foretaget elektroniske registreringer af temperatur, pH og ilt i produktionsanlægget, i plantelagunen samt i afløbet fra dambruget (afløb fra plantelagune). Hertil kommer at der i forbindelse med udtagning af vandprøver hver 14. dag er målt temperatur, pH og ilt på dambruget. Dataene indsamles blandt andet med baggrund i lovmæssige krav og for bedre at kunne forklare de processer der foregår på dambruget, som f.eks. omsætning af organisk stof.

De kontinuerte registreringer har desværre ikke fungeret tilfredsstillende. Især logning af ilt, og til dels pH, har været problematisk, idet sonderne ikke er blevet rengjort tilstrækkelig ofte, og fordi de tilsyneladende er relativ følsomme overfor elektronisk støj fra andre kilder. På den baggrund er der kun medtaget kontinuerte målinger for temperatur (døgngennemsnit) i dette kapitel. pH- og iltmålinger som er foretaget hver 14. dag er medtaget i stedet for de kontinuerte registreringer.

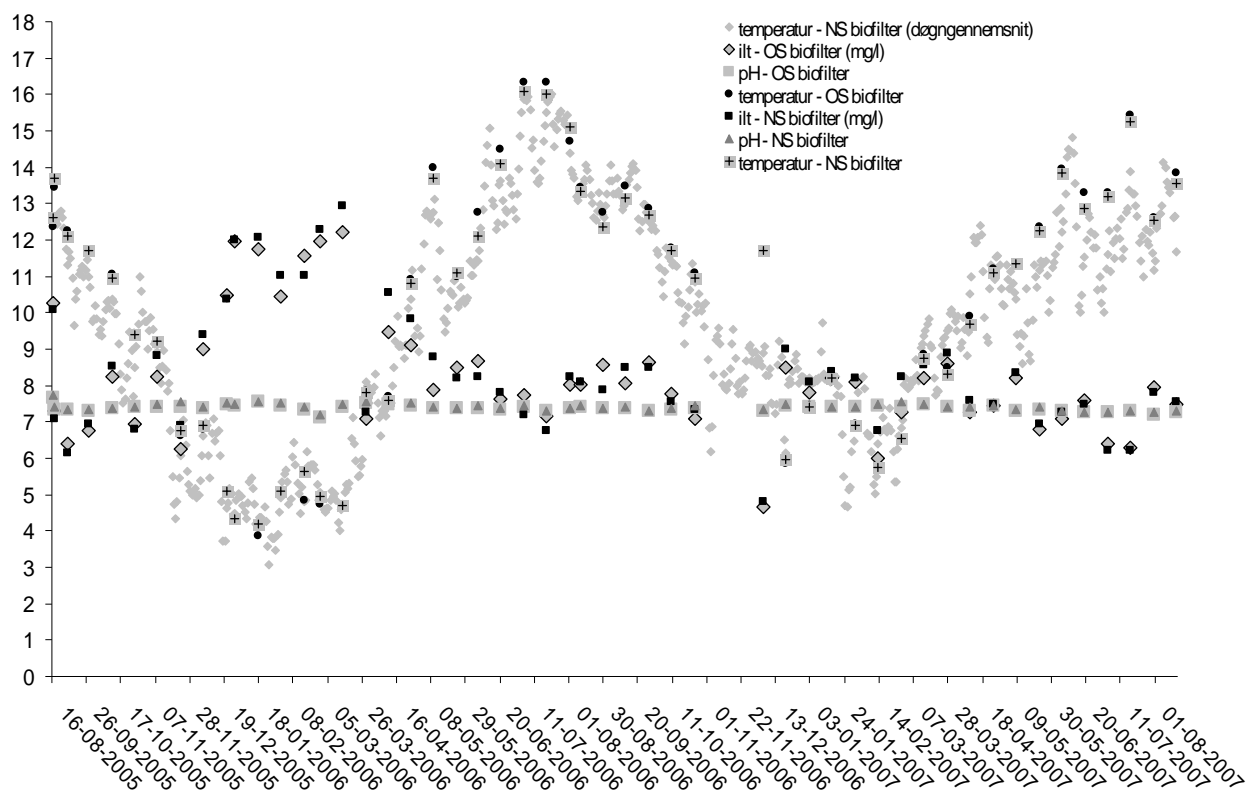
Figur 3 viser temperatur (°C), pH og ilt (mg/l) for det vand der indtages fra kildevæld fra naboen til Tingkærvad Dambrug. Figuren viser en relativ stabil pH-værdi som hverken er statistisk signifikant stigende eller faldende ( $P \gg 0,05$ ) og moderate temperaturudsving (5-11 °C) i forhold til årstiden. Iltindholdet varierer imellem 6 og 13 mg/l, og toppe i starten af 2006.



**Figur 3** Temperatur, pH og ilt målt hver 14. dag i indløbsvand til Tingkærvad Dambrug for begge måleår.

I figur 4 er vist data fra dambrugets produktionsanlæg nedstrøms og opstrøms biofilteret (vist som gennemsnit for de to produktionsenheder).

De kontinuerte temperaturmålinger er kun foretaget nedstrøms biofilteret.



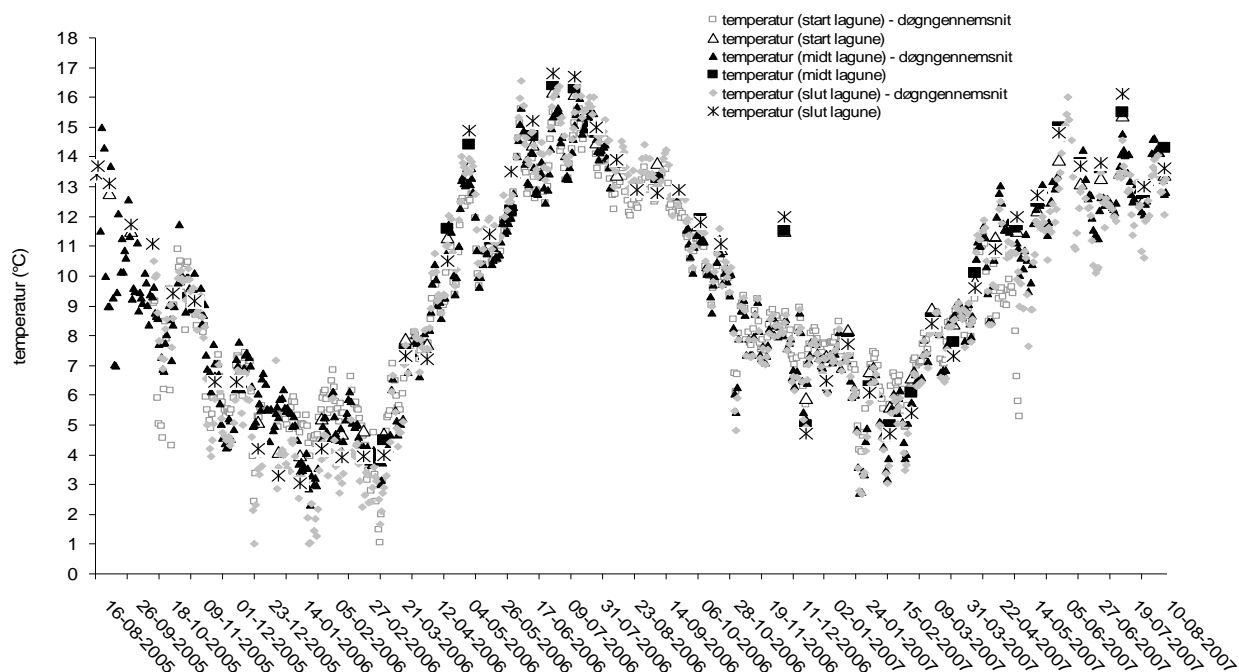
**Figur 4** Ilt, pH og temperatur angivet som gennemsnitsværdier for de to produktionsenheder på Tingkærvad Dambrug i begge måleår.

Vandets pH-værdi er stabil igennem hele måleperioden, og der er ikke forskel på pH opstrøms og nedstrøms biofilteret idet den gennemsnitlige værdi på begge stationer er 7,4.

Temperaturmålingerne (hver 14. dag) er ensartede opstrøms og nedstrøms biofilteret, og viser god overensstemmelse med døgnmiddeltallene.

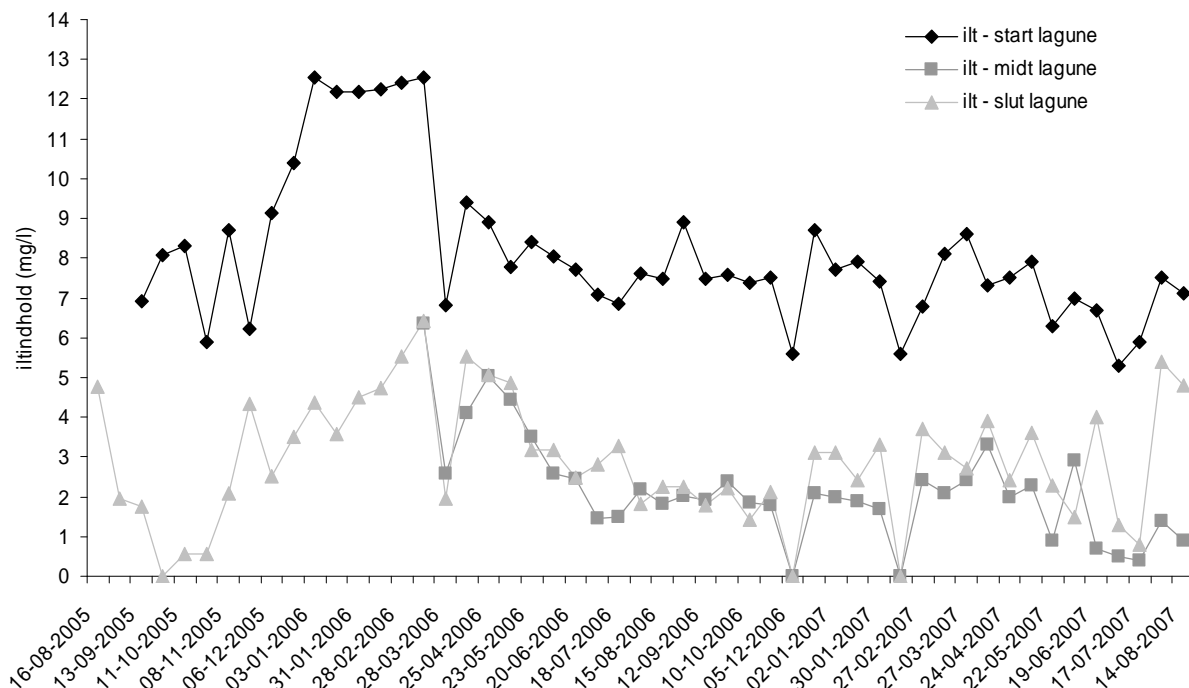
I de to produktionsenheder ses, både opstrøms og nedstrøms biofilteret, en tendens til at vandets iltindhold varierer i modfase med temperaturen, idet koldere vand kan indeholde mere ilt. Vandets iltindhold er trods bakteriernes iltforbrug i biofilteret stort set identisk opstrøms og nedstrøms filteret (hhv. 8,2 og 8,4 mg/l i gennemsnit), men dette skyldes formentlig, at beluftning af filteret indvirker på disse tal, og derved slører det bakterielle iltforbrug i biofilteret.

Vandtemperaturen i plantelagunen fremgår for begge måleår af figur 5. Der er angivet loggede temperaturer (udregnet som døgngennemsnit) i plantelagunens indløb ("start lagune"), omkring halvvejs nede i plantelagunen ("midt lagune"), og i den mest nedstrøms del i plantelagunen inden beluftning af vandet ("slut lagune"), hvor der er afløb til vandløbet. Endvidere er der angivet manuelle målinger foretaget hver 14. dag på de samme stationer. Der er tilsyneladende ikke væsentlige forskelle i vandtemperaturen imellem de enkelte målepunkter i plantelagunen.



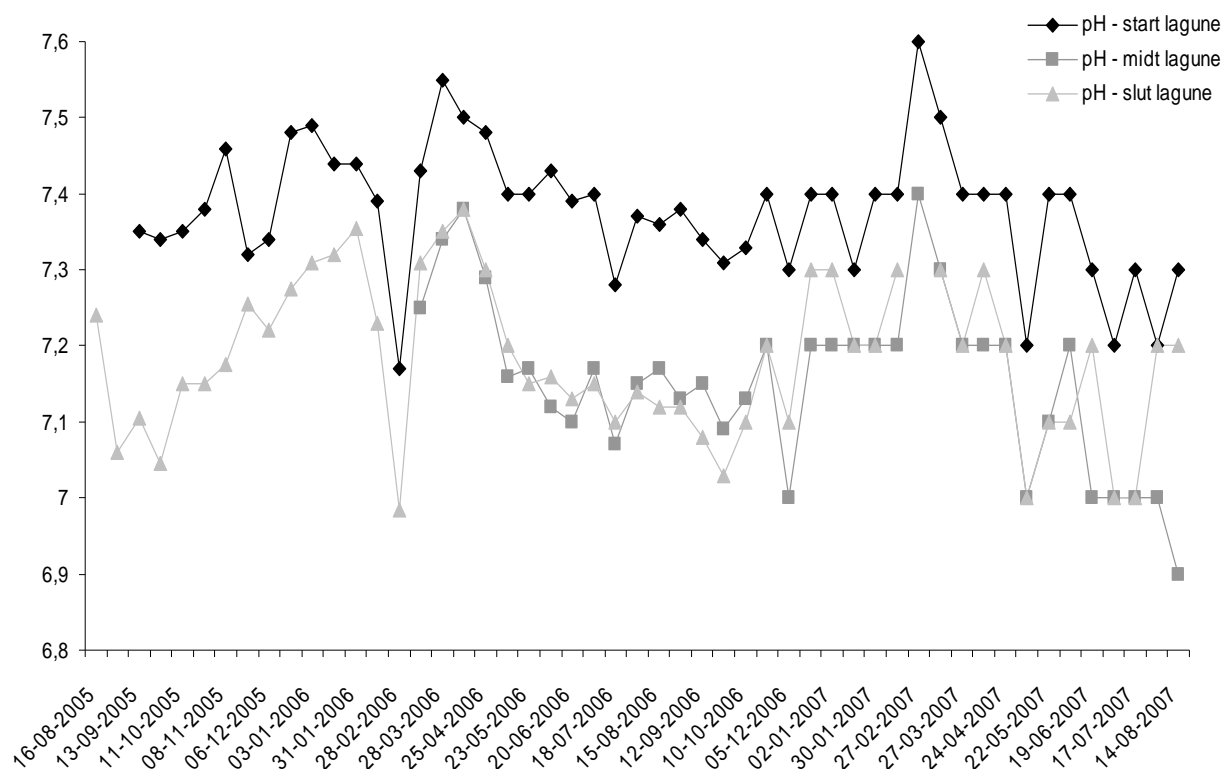
**Figur 5** Vandtemperaturen i plantelagunen på Tingkærvad Dambrug i begge måleår. Der er målt kontinuerligt (døgngennemsnit) og manuelt hver 14. dag på forskellige stationer som angivet.

Der er samme tendens for iltkoncentrationen i indløbsvandet til dambruget (figur 3), produktionsvandet (figur 4) og i plantelagunen (figur 6). Også i plantelagunen er iltniveauet i første måleår højere og mere varierende end i andet måleår. Forskellen i vandets iltindhold på de tre målestationer i plantelagunen i andet måleår viser, at det meste ilt opbruges i den første halvdel af plantelagunen (se senere i dette kapitel).



**Figur 6** Iltindhold (mg/l) målt manuelt hver 14. dag i plantelagunen på Tingkærvad Dambrug. Som angivet på figuren er der målt tre forskellige steder i lagunen. Målinger midt i lagunen er først påbegyndt midt i første måleår. [LMS: er det korrekt?]

I plantelagunen er vandets pH-værdi relativt stabil (figur 7), med pH lidt højere i den opstrøms ende af plantelagunen ifh. til midt- og nedstrøms del af plantelagunen, hvilket blandt andet kan afspejle et forøget CO<sub>2</sub>-indhold stammende fra den aerobe omsætning af organisk stof.

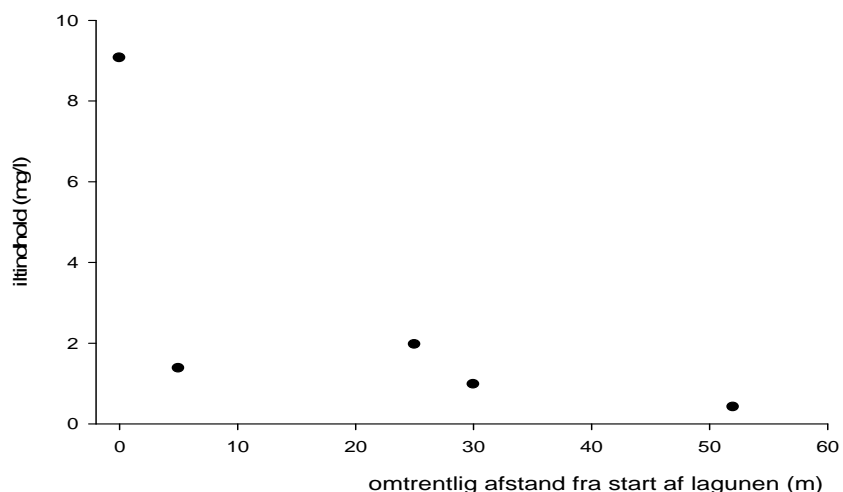


**Figur 7** pH målt hver 14. dag i plantelagunen på Tingkærvad Dambrug. Som angivet er der målt tre forskellige steder i plantelagunen. Målinger midt i plantelagunen er først påbegyndt midt i første måleår

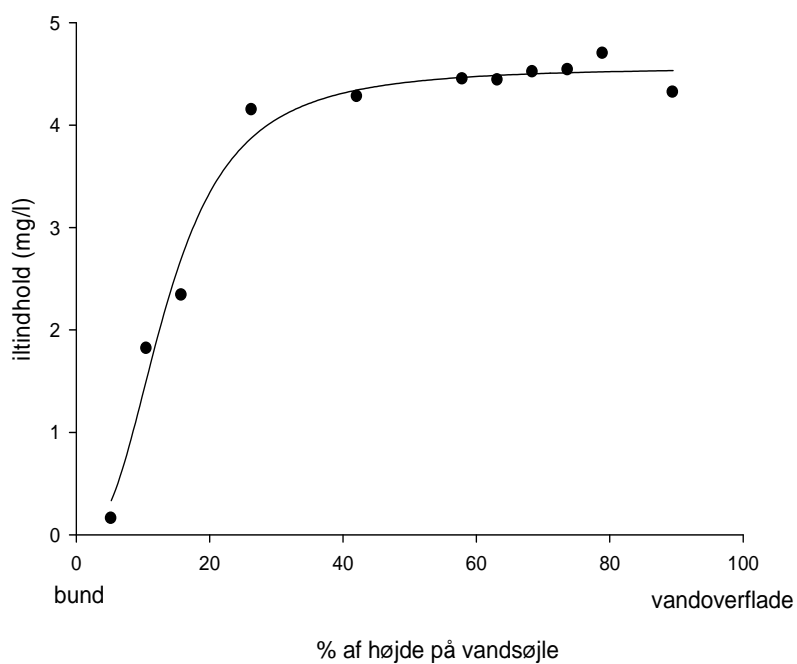
Udover de periodiske iltmålinger er der også foretaget iltmålinger i plantelagunen på en enkelt dag, nemlig den 22. august 2007, hvor vandtemperaturen blev målt til 14,3 °C. Dels er der foretaget iltmålinger i omkring 20 cm's dybde i forskellige positioner ned gennem plantelagunen for at belyse, hvor hurtigt ilt forbruges i denne, og dermed få et billede af omsætningen af bl.a. organisk stof. Figur 8 viser vandets iltindhold ned igennem plantelagunen. Det ses, at en meget stor del af ilten opbruges hurtigt, nemlig indenfor de første 10 meter af opstrømsdelen af plantelagunen. Herefter holder iltniveauet sig lavt og stabilt imellem ½-2 mg/l.

Der blev ligeledes den 22. august 2007 målt et ilt-dybdeprofil nedstrøms i plantelagunen, hvor dybden var 95 cm. Tallene er vist i figur 9 hvor iltindholdet (mg/l) sammenlignes med den procentvise afstand til bunden. Kurven i figur 9 angiver den bedste regression ( $R^2 = 0,98$ ), og er beskrevet ved en logistisk relation:

$$y = 4,56/1 + (x/13,71)^{-2,65}$$



**Figur 8** Vandets iltindhold (mg/l) i 20 cm's dybde i forskellige afstande fra indløbet til plantelagunen på Tingkærvad Dambrug. Målingerne er foretaget den 22. august 2007 ved en vandtemperatur på 14,3 °C.



**Figur 9** Dybdeprofil af iltindhold (mg/l) i plantelagunen på Tingkærvad Dambrug. Målingerne er foretaget i den 22. august 2007, vandtemperatur 14,3 °C.

Efter denne model er vandets maksimale iltindhold ( $x = 100\%$ ) 4,54 mg/l på den pågældende målestation. Denne værdi er halveret (dvs. iltindholdet er 2,27 mg/l) i vand der er 14 cm over bunden ( $x = 13,71$ ) ved en vandsøjlehøjde på 100 cm. Som det også fremgår af figuren, er det således i området tæt på bunden at iltindholdet reduceres kraftigt. Dette peger på en stor bakteriel aktivitet og stofomsætning nær/i sedimentet.

Det faktum, at der både findes aerobe og anaerobe forhold i plantelagunen er umiddelbart en fordel eftersom det betyder, at der både findes ilt til omsætning af for eksempel organisk stof ( $BI_5$ ), og at der samtidigt eksisterer iltfrie forhold ved bunden, hvor der er mulighed for denitrifikation, dvs. dannelsen af frit kvælstof ( $N_2$ ) ud fra nitrat ( $NO_3^-$ ) som herefter forureningsfrit kan afgasse til atmosfæren. Eftersom det meste af plantelagunens bund må antages at være nærmest iltfri, er der således et stort område, hvor der potentielt kan forekomme denitrifikation med tilhørende omsætning af organisk stof.



## 5 Vandflow i dambruget

### 5.1 Måling af vandflow

Vandflowet bliver registreret kontinuert (hvert 10. minut) 11 steder i dambruget jf. tabel 1 (kapitel 2). Registreringen sker på de 8 af målestederne ved hjælp af flowmålere (vandure), der måler med en usikkerhed på mindre end 1 %. I udløbet fra plantelagunen/dambruget er etableret en rektangulær kanal med indbygget overfaldsbygværk. Her registreres vandstand kontinuert og vandføringen bliver målt med vingeinstrument ca. en gang pr. måned. En vurdering af usikkerheden på beregning af flow i udløbet er omkring 5 %.

En del af flowmålerne har haft kortere perioder, især i første måleår, hvor data er gået tabt, enten på grund af fejl i datakommunikationen eller i selve måleren. Der er opstået fugtproblemer i elektronikken, og 2 af vandurene har stået under vand. I de pågældende perioder er dataserierne rekonstrueret ved hjælp af interpolation og korrelation til de øvrige målere. Problemerne har medført en mindre forøgelse af usikkerheden, og en vurdering er, at usikkerheden på flowdata er mellem 0 og 5 %. Muligheden for interpolation og korrektion skyldes, at der typisk er målt både op- og nedstrøms for en række af komponenterne på dambruget.

Det recirkulerede flow i de 2 produktionsenheder bliver målt med doppler-sensorer, der måler middel-strømhastigheden kombineret med registrering af vandstanden. Til kalibrering af målingerne bliver flowet (vandføringen) målt med vingeinstrument ca. en gang pr. måned. Sensorerne er monteret i kanalerne ved indløbet til biofiltrene. Disse målinger har en usikkerhed på ca. 5 %.

I tabel 5 findes det gennemsnitlige flow opdelt på henholdsvis første og andet måleår. Det samlede vandindtag har i gennemsnit det første måleår været 37 l/s og 38 l/s i andet år. Vandindtaget har således i begge år været noget mindre end de tilladte 50 l/s. Indtaget sker fra et kildevæld øst for åen og fra en boring, der er placeret nær ved vandløbet, opstrøms for dambruget. Endvidere kommer vandet til leveredammen fra et lille væld vest for dambruget.

Det samlede udløb fra produktionsenhederne er ca. 5 l/s mindre end indløbet i både 1. og 2. måleår. Det skyldes til dels, at der bliver ført vand væk herfra i forbindelse med skylning af filtre og tømning af slamkegler (0,7 l/s), og at der bliver brugt vand ved udfiskning og sortering. Det forklarer dog kun en mindre del af differencen, der ligger næsten udelukkende i produktionsenhed 2. Det er efterfølgende blevet oplyst, at der tages en mindre del af vandet fra boringen (3) til dambrugets sættefiskenhed, og at alt boringsvandet således ikke som oprindeligt planlagt ledes til produktionsenhed 2. Hvis denne mængde udgør ca. 4 l/s, hvilket umiddelbart virker realistisk, kan det forklare differencen. Der synes ikke at kunne ske noget egentligt tab af vand fra produktionsanlægget som er støbt og ikke har påviste, større utætheder.

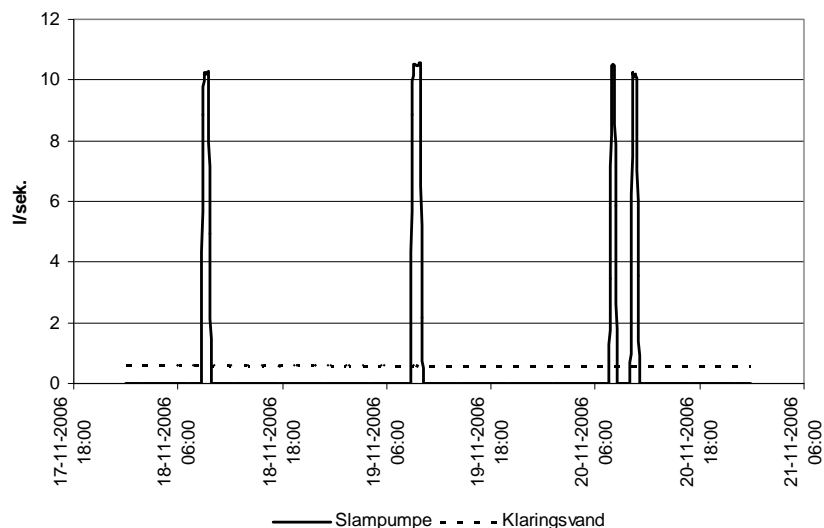
Målested	Navn på målested	Gennemsnitsflow l/sek.	
		1. måleår	2. måleår
1	Vandindtag fra væld, produktionsenhed 1	16,1	17,1
2	Vandindtag fra væld, produktionsenhed 2	7,3	9,5
3	Vandindtag fra boring, produktionsenhed 2	12,5	9,8
4	Indløb leveredam	1,3	1,7
1+2+3+4	Samlet vandindtag	37,2	38,1
5	Recirkulation opstrøms biofilter, produktionsenhed 1	522	623
7	Recirkulation opstrøms biofilter, produktionsenhed 2	571	645
9	Indløb slamtank	0,7	0,6
10	Udløb produktionsenhed 1	16,6	16,3
11	Udløb produktionsenhed 2	15,1	15,4
12	Udløb, klaret slamvand	0,5	0,6
4+10+11+12	Samlet tilløb til plantelagune	33,5	33,9
17	Udløb plantelagune/dambrug	40,9	37,4

**Tabel 5** Vandflow som gennemsnit ved de enkelte målesteder for 1. og 2. måleår i l/s på Tingkærvad Dambrug.

## 5.2 Returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler

For at fjerne partikler bliver slamkeglerne i bunden af produktionsenhederne tømt regelmæssigt, og tilsvarende bliver biofiltret returskyllet. Alt slamvand bliver pumpet til slamtanken, hvorfra overløbet ledes til et slambassin. Slamkeglerne bliver tømt ca. 2 gange om ugen ved opskylning. Proceduren for returskylning af filtre er, at hver dag bliver en af de 6 sektioner i hver produktionsenhed skyllet i samlet ca. 30-40 minutter. Afvigelser fra de faste procedurer kan ske i forbindelse med f.eks. flytning af fisk, sygdomsbehandling m.v.

Under tømning og skylning pumpes ca. 10 l/s til slambassinerne. Pumpeydelsen er lidt mindre i 2. måleår end i første. Den samlede vandmængde, der bliver anvendt til tømning og returskylning er som middel opgjort til 0,72 l/s i første måleår og 0,62 i andet måleår. Det svarer til ca. 2 % af den mængde, der bliver taget ind til dambruget. Klaringsvandet pumpes kontinuerligt fra slambassinet (ca. 0,6 l/s i andet måleår) til plantelagunen jf. figur 10. Opholdstiden, hvori sedimentation og udfældning kan foregå, er dermed størst mulig for at øge renseeffekten på især den partikulære del af slamvandet mest muligt. I marts 2007 sker der en mindre justering, hvor pumpeydelsen forøges lidt og derfor er der perioder, hvor den er slukket.

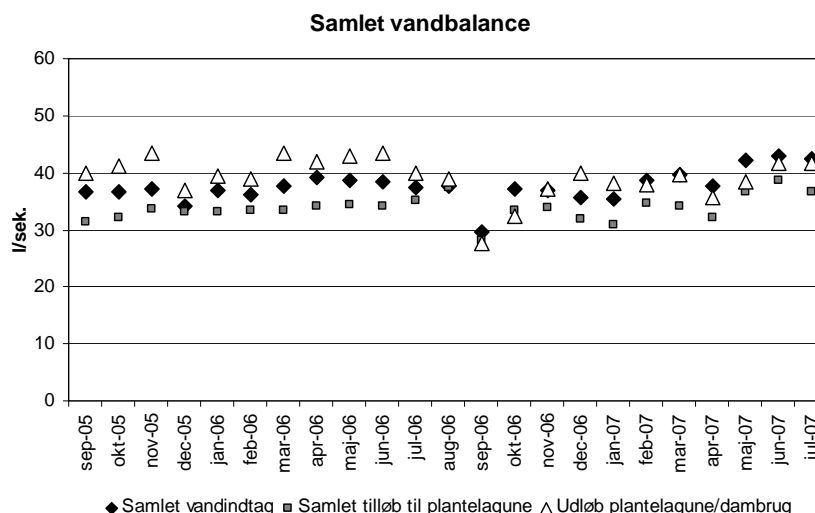


**Figur 10** Eksempler på skylning/tømning og afløb af klaringsvand fra slambassin over 3 døgn i november 2006. Enhed er l/s.

### 5.3 Vandbalance

Det samlede vandindtag på 37,2 l/sek. første år og 38,1 andet år er tilsyneladende noget større end det samlede tilløb til plantelagunen (33,5 henholdsvis 33,9 l/s). Denne forskel kan som nævnt skyldes, at en mindre del af indtagsvandet (op til 4 l/s) går til sættefiskanlægget, der ikke har direkte afløb til plantelagunen, idet afløbsvand fra sættefiskeanlægget nedsives. Nedbør og fordampning i produktionsanlægget har kun en meget ringe betydning for vandbalancen, da det på årsbasis kun vil tilføre, hvad der som middel svarer til maksimalt 0,1 l/s.

Udløbet fra plantelagunen, og dermed dambrugets samlede afledning til Vejle Å, var som middel for første måleår 40,9 l/s og 37,4 for andet måleår (figur 11). Da det samlede tilløb til plantelagunen som middel har været henholdsvis 33,5 og 33,9 l/s kan der konstateres en yderligere tilstrømning til plantelagunen på henholdsvis 7,4 og 3,5 l/s, dvs. en nettovandtilstrømning på 22 % i første måleår og 10 % i andet måleår. Det kan enten skyldes, at der er tilstrømning fra sættefiskeanlæggets nedsivning til plantelagunen, eller at der sker tilstrømning af grundvand/kildevand. Da grundvandstanden er høj i hele området, og der er væld mange steder, kan den ekstra tilstrømning stamme begge steder fra. Nedbøren var i andet måleår ca. 67 % større (over 400 mm højere) end i første måleår.



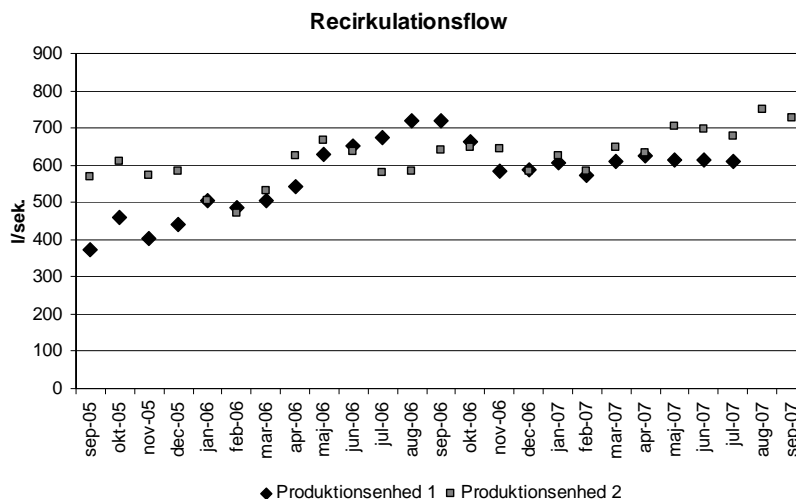
**Figur 11** Samlet vandbalance (l/s) over Tingkærvad Dambrug over to de måleår angivet som månedsmiddel.

Som for produktionsanlægget har nedbør og fordampning over selve plantelagunen kun ubetydelig indflydelse på middel-vandbalancen, som på et år maksimalt kan udgøre ca. 0,3 l/s. Kun på enkelte dage kan det medføre at vandbalancen viser mere afstrømning af vand end normalt, hvilket kan ske i forbindelse med kraftigt regnskyl.

## 5.4 Recirkulationsflow

Recirkulationen bliver drevet af luftpumperne i anlægget, så variationer i flowmængden vil også være en funktion af behovet for iltning. Derfor vil der ofte være tendens til lidt større flow i sommerperioden, hvilket også delvis fremgår af figur 12, der viser månedsmiddel for den recirkulerede flowmængde i de 2 produktionsenheder for begge måleår. Flowet svarer til at den gennemsnitlige strømhastighed i produktionsenhedernes sektioner med fisk for begge enheder er ca. 9 cm/s i første måleår og ca. 10 cm/s i andet måleår.

Med et gennemsnitligt vandindtag på 37,2 l/s i første og 38,1 l/s i andet måleår ( $Q_i$ ) og en samlet recirkulering i de 2 produktionsenheder på henholdsvis 1093 og 1268 l/s ( $Q_r$ ) (5+7 jf. tabel 5), betyder det, at recirkulationsgraden kan opgøres til henholdsvis 96,6 og 97,0 %, beregnet som  $(Q_r - Q_i) / Q_r$ . For modeldambrug type III forudsættes en minimum recirkulationsgrad på 95 %.



**Figur 12** Recirkulationsflow i Tingkærvad Dambrugs 2 produktionsenheder for de to måleår opgivet som månedsmiddel i l/s.

## 5.5 Vandforbrug/fodermængde

Ved at sammenholde det samlede vandindtag med det samlede foderforbrug kan det opgøres, at der på Tingkærvad Dambrug er brugt ca. 4.200 liter vand pr. kg foder i første måleår og 3.200 liter i andet år, svarende til henholdsvis 3.730 og 2.800 liter vand pr. kg produceret fisk. Dette er i gennemsnit ca. en faktor 15 lavere end i et traditionelt gennemstrømningsdambrug.

## 5.6 Hydraulisk belastning af lagune

Baseret på det beregnede areal af plantelagunerne (se kapitel 11) har den gennemsnitlige hydrauliske belastning af plantelagunen været ca. 0,008 l/s pr. m<sup>2</sup> plantelagune i både første og andet måleår. Det er ca. en tredjedel af den forudsatte maksimale belastning på 1 l/s pr 48 m<sup>2</sup> plantelagune i modeldambrugsbekendtgørelsen (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*).

## 6 Stofkoncentrationer forskellige steder på dambruget

I dette kapitel vises og kommenteres der på stofkoncentrationen beregnet i forskellige målepunkter på Tingkærvad Dambrug omfattende både første og andet års måleresultater. Det muliggør en sammenligning mellem de to måleår i samme graf.

I tabel 6 er beregnet gennemsnitskoncentration for de analyserede, udtagne vandprøver i det andet måleår ved forskellige målestationer på Tingkærvad Dambrug. Endvidere er angivet spredningen på koncentrationerne over andet måleår. Det giver et billede af, hvordan der tilføres stof ved fiskeproduktionen i produktionsanlægget og hvordan der fjernes stof via bl.a. slamkegler, biofiltre, slambassin og plantelagune. Det bemærkes, at koncentrationerne fra især tømning af slamkegler er meget høje for alle kemiske variable på nær for nitrit+nitrat kvælstof. Nitrat-nitrit kvælstof er meget lav, nær 0 mg/l. For skyllevand fra biofiltrene er koncentrationerne noget højere for total kvælstof og fosfor, organisk stof og suspenderet stof end i udløbet af produktionsanlægget, men samtidig væsentligt lavere end i slamvandet ved tømning (støvsugning) af slamkegler. Desuden er værdierne for ammonium, total kvælstof og fosfor meget høje i afløbsvand fra slambassin (klaringsvand), større eller på niveau med koncentrationer i skyllevand fra biofiltre i produktionsenhederne. For organisk stof og suspenderet stof er gennemsnits koncentrationerne mindre i klaringsvandet end i skyllevandet fra biofiltrene.

Der er ikke væsentlige forskelle i de kemiske koncentrationer nedstrøms biofiltrene (udløbsvand til plantelagunen) fra de to produktionsenheder og det samme gælder for standardafvigelse. Det må vurderes, at de 2 produktionsenheder overordnet set har kørt ens i andet måleår. Spredning på koncentrationerne for indtagsvandet er generelt lave undtagen for COD.

Koncentrationen i udløbet fra dambruget har især for ammonium og hermed total kvælstof samt COD været lidt højere i andet måleår.

Spredningen på koncentrationerne i det andet måleår er ligesom koncentrationerne højest i slam fra tømning af slamkegler, skyllevand fra biofiltre og afløb fra slambassin (klaringsvand). Spredningen målt som procent af gennemsnitskoncentrationen (variationskoefficienten) for alle målesteder på Tingkærvad Dambrug er størst for nitrit+nitrat kvælstof med 63 % og suspenderet stof med 55 % mens resten af stofferne har en variationskoefficient på 38-47 % (tabel 7).

Den procentvise standardafvigelse på koncentrationerne er for alle kemiske parametre betydelig mindre i det andet måleår (tabel 7). Koncentrationsforholdene har derfor tilsyneladende været mere stabile i andet måleår.

Målested	Susp. stof		NH <sub>4</sub> -N		NO <sub>23</sub> -N		Total -N		Ortho-P		Total -P		BI-5		COD	
	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std
Boring	1,9	1,3	0,1	0,0	0,4	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,1	0,4	6,3	1,7
Kildevæld fra nabo	2,2	0,7	0,0	0,0	0,9	0,2	0,9	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	1,1	0,4	7,9	4,0
Vand ud af leverdam	5,7	3,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,4	13,2	4,1
OS biofilter prod.enhed 1	7,4	4,3	6,2	1,9	4,0	1,0	11,2	3,2	0,3	0,1	0,4	0,1	6,3	2,8	25,5	4,9
Afløb biofilter prodenhed 1	654	273	6,8	2,6	1,9	1,6	46,7	18,5	0,4	0,2	14,0	6,0	206	126	748	382
Afl. slamkegler prodenhed 1	5.985	4.509	38,7	12,1	0,3	0,3	332	221	44,0	21,3	277	219	4.931	3.891	14.748	13.133
NS biofilter prodenhed 1	7,3	3,9	6,2	1,9	4,0	1,1	11,7	2,2	0,3	0,1	0,4	0,1	6,2	2,2	25,6	6,2
OS biofilter prod.enhed 2	11,2	5,9	6,1	2,2	5,2	1,6	13,2	2,8	0,3	0,1	0,6	0,3	8,6	3,2	30,9	8,8
Afløb biofilter prodenhed 2	642	292	6,7	3,6	2,2	1,8	47,5	18,8	0,4	0,3	15,5	8,2	254	229	815	442
Afl. slamkegler prodenhed 2	8305	6619	43,4	13,4	0,4	0,4	382	261	56,0	26,7	313	260	4.598	2.546	14.817	12.442
NS biofilter prodenhed 2	9,3	3,1	5,8	2,2	5,1	1,7	12,5	3,3	0,3	0,1	0,5	0,1	7,8	2,8	29,0	5,3
Klaringsvand fra slambassin	202	150	46,3	7,9	0,1	0,2	62,3	13,4	12,1	3,4	21,6	14,9	95,7	50,5	378	209
Udløb dambrug (år 2)	2,5	1,0	6,0	1,7	1,9	0,7	8,3	1,6	0,5	0,1	0,6	0,2	2,0	0,5	16,5	3,5
Udløb dambrug (år 1)	2,4	1,6	4,0	2,3	1,6	1,0	6,5	1,7	0,4	0,2	0,6	0,8	2,1	0,6	13,8	4,7

**Tabel 6** Gennemsnitskoncentrationen for kemiske variable målt forskellige målesteder på Tingkærvad Dambrug. OS = opstrøms; NS = nedstrøms. Til sammenligning er medtaget tilsvarende værdier for udløb fra dambruget i første måleår.

DMU nr.	Susp	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>23</sub> -N	Total N	Ortho P	Total P	BI <sub>5</sub>	COD
Std % 1. år	82	59	84	56	55	66	60	59
Std % 2. år	55	38	63	32	44	43	47	43

**Tabel 7** Gennemsnittet af de procentuelle standardafvigelser (variationskoefficienter) for de kemiske koncentrationer for hhv. første og andet måleår for Tingkærvad Dambrug. Variationskoefficienten for hvert målested for de enkelte parametre er beregnet. Derefter er gennemsnittet beregnet for hver parameter.

De efterfølgende figurer viser koncentrationsforløbet ved de målepunkter, hvor der udledes betydende stofmængder til plantelagunen, dvs. for udløb fra de 2 produktionsenheder og for klaringsvand fra slambassin over begge måleår. Koncentrationsniveauerne indikerer også, hvordan driften er forløbet over tid.

Overordnet viser udviklingen i kvælstoffraktionernes koncentrationer, at der i første måleår er en gradvis stigning i koncentrationen i begge produktionsenheder, således at koncentrationen for alle kvælstofparametre er højere i andet måleår for begge produktionsanlæg. Dette kan afspejle, at der gradvist opbygges fiskebestand på anlægget og et dermed stignende foderforbrug. Bestanden blev først etableret i produktionsenhed 2 (inden starten af første måleår), der også starter med et højere koncentrationsniveau. Der var kun få fisk i produktionsenhed 1 ved starten af første måleår. Generelt er koncentrationen af total-kvælstof højest i sommerhalvåret med max. værdi på ca. 16 mg/l og har en faldende tendens over vinterhalvåret med minimum i april på ca. 10 mg/l (figur 13 og 14). Udviklingen i ammonium-kvælstof koncentrationen følger den tilsvarende for total-kvælstof med et maksimum på 9-10 mg/l i efter-sommeren. Variationen hen over de to måleår er dog mindre udtalt. Ni-

trit+nitrat kvælstof er relativt konstant gennem andet måleår. Overordnet er koncentrationsudviklingen og -niveauer ret ens i de to produktionsenheder.

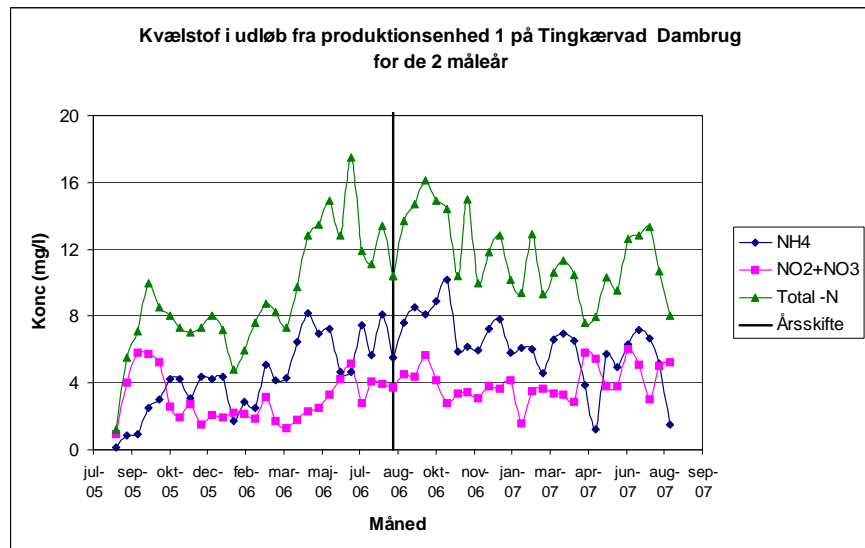
Koncentrationsniveauet for både orthofosfat og total fosfor viser overordnet en stigning over de to måleår. I produktionsenhed 1 stiger koncentrationen fra målingernes start fra ca. 0,05 mg/l (hvor der først isættes fisk i) til et niveau på 0,3-0,5 kg/l i slutningen af måleår 2 med ret store variationer over de to måleår. De højeste koncentrationer forekommer i foråret/forsommeren. Orthofosfat-koncentrationen følger stort set samme forløb, men på et niveau 0,1 - 0,2 mg lavere end for total fosfor (figur 15). Fosforkoncentrationsudviklingen er overordnet set ret ens for begge produktionsenheder, men ca. 0,1 mg/l højere i produktionsenhed 2, hvor fiskebestanden blev opbygget først (figur 15-16). Der er en markant forskel mellem de to måleår, idet der i første måleår er en kraftig stigning gennem hele måleåret frem til august 2006 som en konsekvens af den lange opstartsfase. Andet måleår starter på et væsentligt højere koncentrationsniveau og har generelt højere fosfor koncentrationer end i første måleår..

Den organiske stofkoncentration målt som BI<sub>5</sub> nedstrøms biofiltrene i de 2 produktionsenheder ligger efter en opstartsfase på omtrent samme niveau i begge måleår (figur 17-18). Det samme ses for COD. Variationen i koncentrationen af suspenderet stof ligner i høj grad den tilsvarende for BI<sub>5</sub> og koncentrationen er på samme niveau begge måleår i de 2 produktionsenheder.

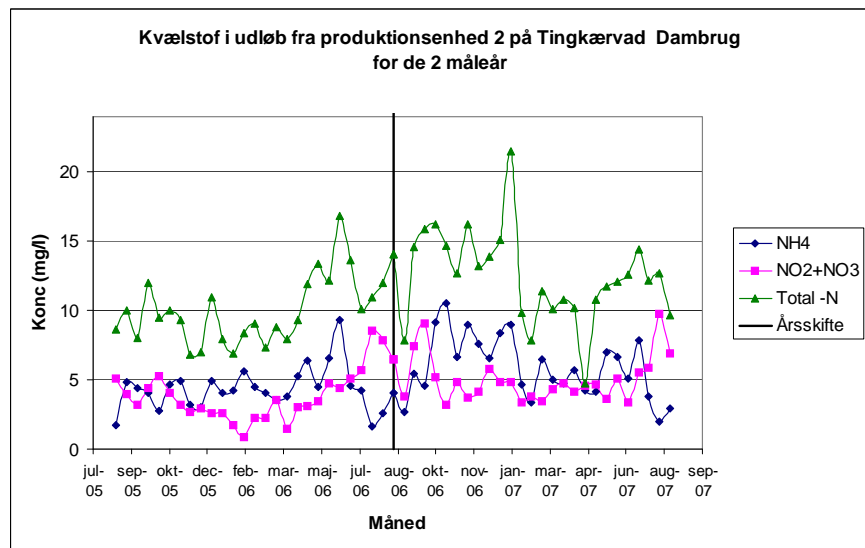
Plantelagunerne modtager et betydeligt stofbidrag med klaringsvandet fra slambassinet (figur 19-21) jf kapitel 9. I første måleår stiger nitrit+nitrat- og total-kvælstof, orthofosfat samt total-fosfor koncentrationerne over hele måleåret, mens koncentrationerne i andet måleår med visse variationer ligger på niveau med slutningen af første måleår. Slam-tank og bassin var tom fra starten af første måleår og fyldes gradvist op. Koncentrationsforløbet for organisk stof både som COD og BI<sub>5</sub> fraviger det tilsvarende for kvælstof og fosfor, idet der i begge måleår findes de højeste koncentrationer om foråret. Koncentrationen af COD er ca. en faktor 4 gange større end BI<sub>5</sub> og relativt konstant i andet måleår.

Klaringsvandet indeholder i modsætning til afløbsvandet fra produktionsenhederne, næsten ikke noget nitrat-kvælstof, men meget ammonium-kvælstof samt en del partikulært kvælstof (forskellen mellem total- og ammonium plus nitrat-nitrit kvælstof). I slambassiner denitrificeres nitraten, hvor hovedparten bliver til frit kvælstof, der afgasser, mens der dannes en mindre del ammonium kvælstof. For fosfor udgør den opløste del kun en mindre del af det totale fosfor, idet meget af det fosfor som tilføres slambassinet er bundet partikulært. Med klaringsvandet tilføres plantelagunen finpartikulært materiale med tilhørende partikelbundet kvælstof, fosfor og organisk stof.



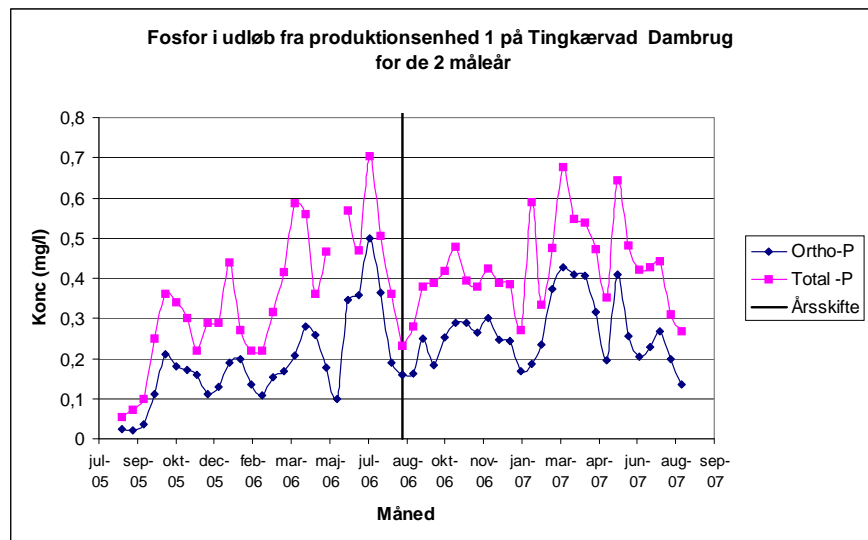


**Figur 13**

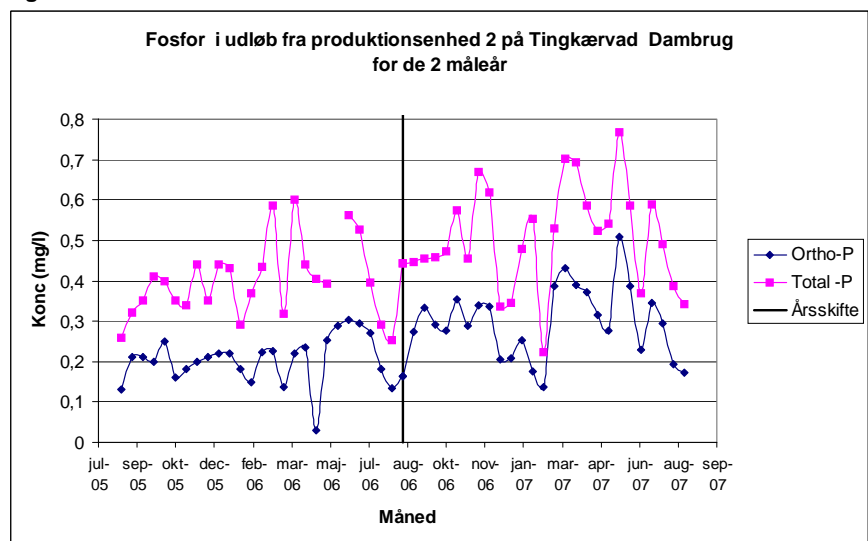


**Figur 14**

Koncentrationsudvikling i de to produktionsenheder (nr. 1 figur 13 og nr. 2 figur 14) på Tingkærvad Dambrug over de to måleår for ammonium, nitrit+nitrat samt total kvælstof nedstrøms biofiltre svarende til koncentrationerne i det vand, der løber ind i plantelagunen fra produktionsenhederne.

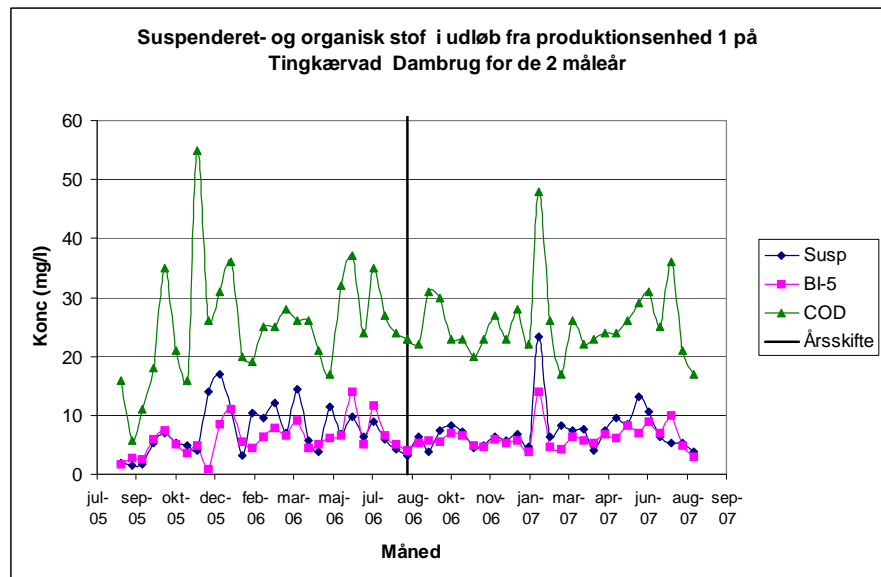


**Figur 15**

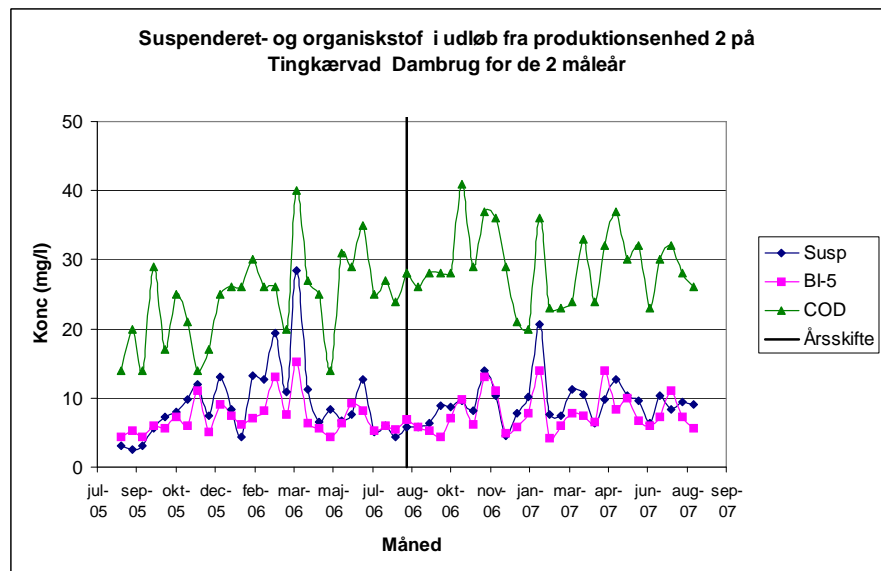


**Figur 16**

Koncentrationsudvikling i de to produktionsenheder (nr. 1 figur 15 og nr. 2 figur 16) på Tingkær vad Dambrug over de to måleår for orthofosfat og total fosfor målt nedstrøms biofiltrene, svarende til koncentrationerne i det vand, der løber ind i plantelagunen fra produktionsenhederne.

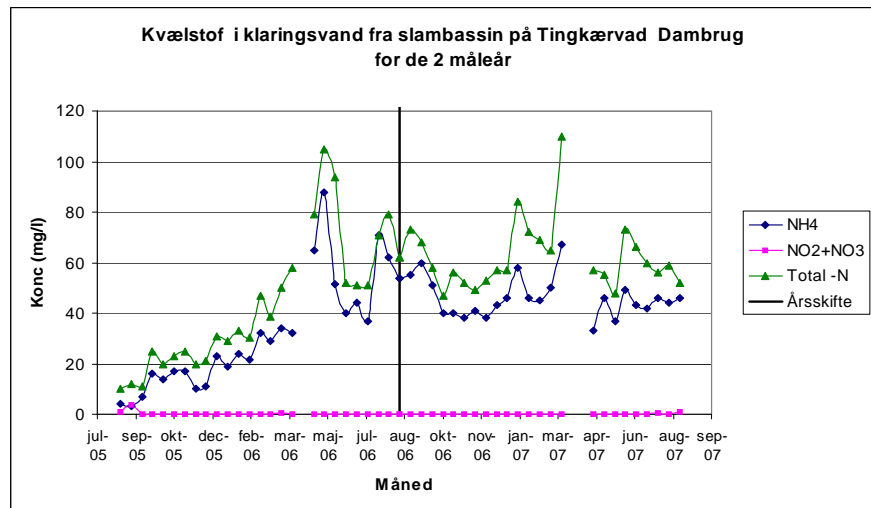


**Figur 17**

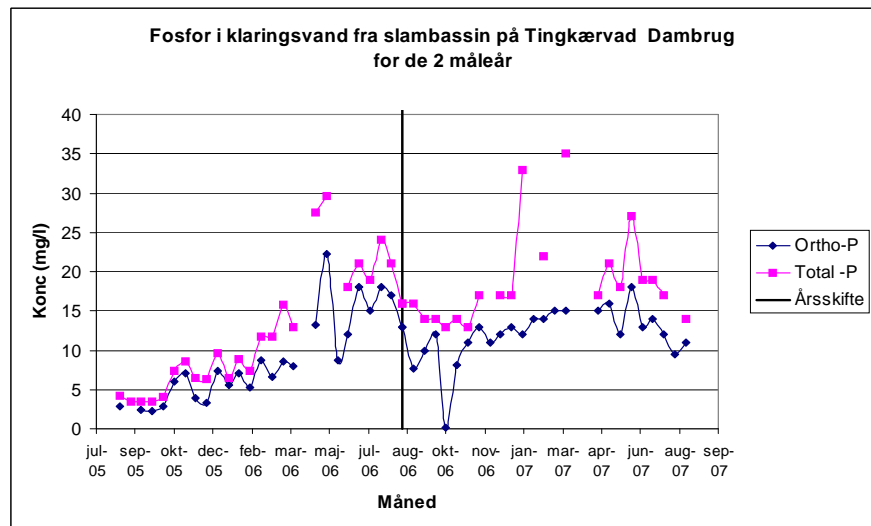


**Figur 18**

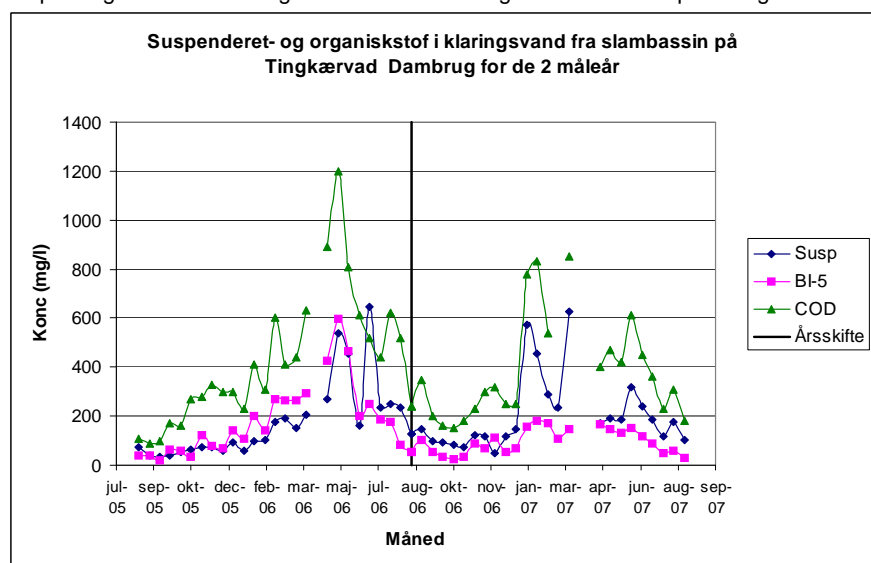
Koncentrationsudvikling i de to produktionsenheder (nr. 1 figur 17 og nr. 2 figur 18) på Tingkærvad Dambrug over de to måleår for organisk stof målt som BI<sub>5</sub> og COD og suspenderet stof målt nedstrøms biofiltrene, svarende til koncentrationerne i det vand, der løber ind i plantelagunen fra produktionsenhederne.



**Figur 19** Koncentrationen af kvælstoffraktioner (ammonium-N, nitrit+nitrat-N, total-N) i klaringsvand fra slambassin på Tingkærvad Dambrug i de 2 måleår. Klaringsvandet løber til plantelagunen.

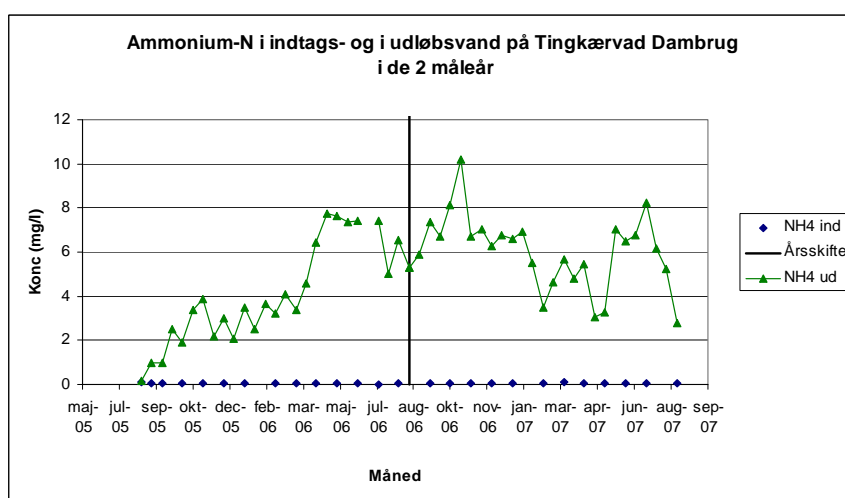


**Figur 20** Koncentrationen af fosforfraktioner (ortho-P, total-P) i klaringsvand fra slambassin på Tingkærvad Dambrug i de 2 måleår. Klaringsvandet løber til plantelagunen.

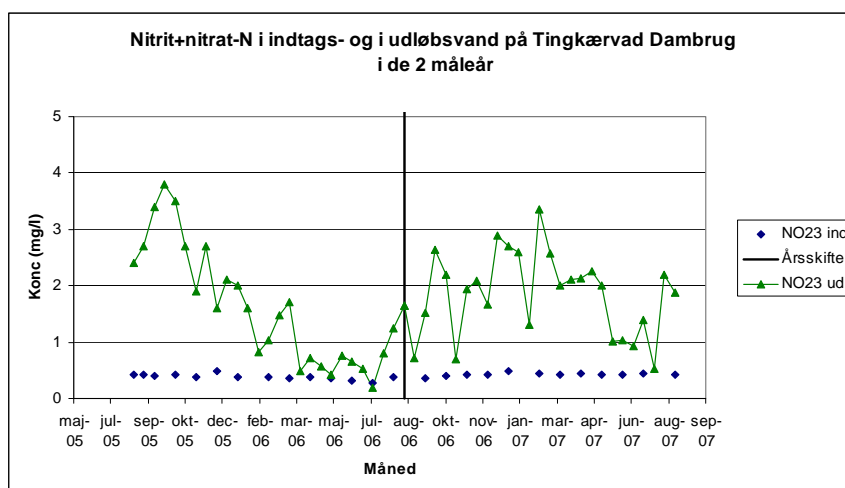


**Figur 21** Koncentrationen af organisk stof (BI<sub>5</sub>, COD) samt suspenderet stof i klaringsvand fra slambassin på Tingkærvad Dambrug i de 2 måleår. Klaringsvandet løber til plantelagunen.

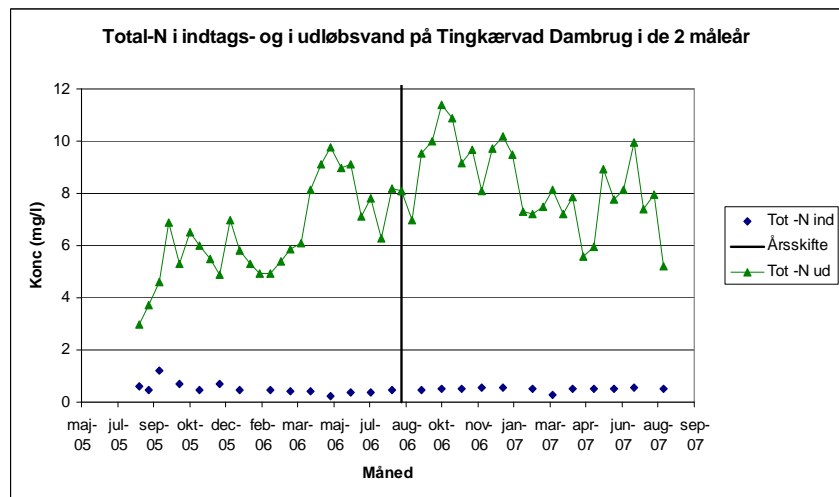
Figur 22 til og med 29 illustrerer koncentrationsforløbet for de målte kemiske parametre i såvel indtagsvandet til dambruget som i udløbet fra plantelagunen (dvs. udløb fra dambruget) for begge måleår. Koncentrationen i det vand, der tilledes plantelagunen er vist i graferne for hhv. udløbsvandet fra produktionsenhederne og klaringsvandet (figur 13-21). Forskellen i de vægtede koncentrationer i det vand, der ledes til plantelagunen og udløbsvandet fra denne, afspejler plantelagunes kapacitet til at omsætte/tilbageholde stofferne, dog med forbehold for stoftilførsel med det vand der netto siver ind via plantelagunens bund (hhv. 22 % år 1 og 10 % år 2 af tilførte vandmængde til plantelagunen). Såfremt det indsvivende vand alene har samme koncentrationsforhold som i friskvandsindtaget har det dog en ganske beskeden betydning for den stofmængde, der tilføres plantelagunen, da det hermed har væsentligt lavere koncentrationer end afløb fra produktionsanlæg og klaringsvandet fra slambassin.



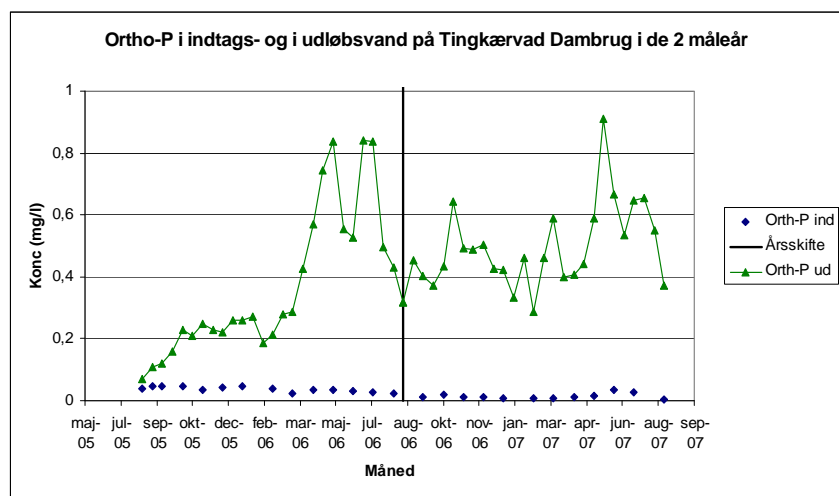
**Figur 22** Ammonium-kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tingkærvad Dambrug og i udløbet herfra til Vejle Å i første og andet måleår.



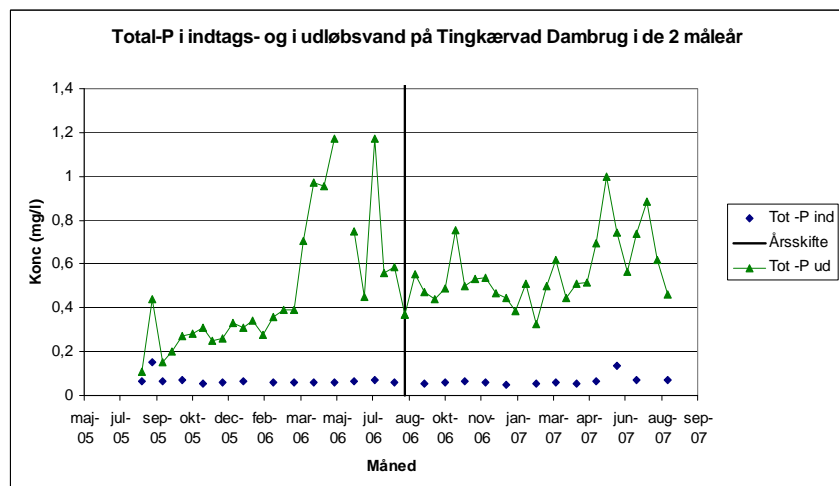
**Figur 23** Nitrat+nitrit-kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tingkærvad Dambrug og i udløbet fra dambruget til Vejle Å i første og andet måleår.



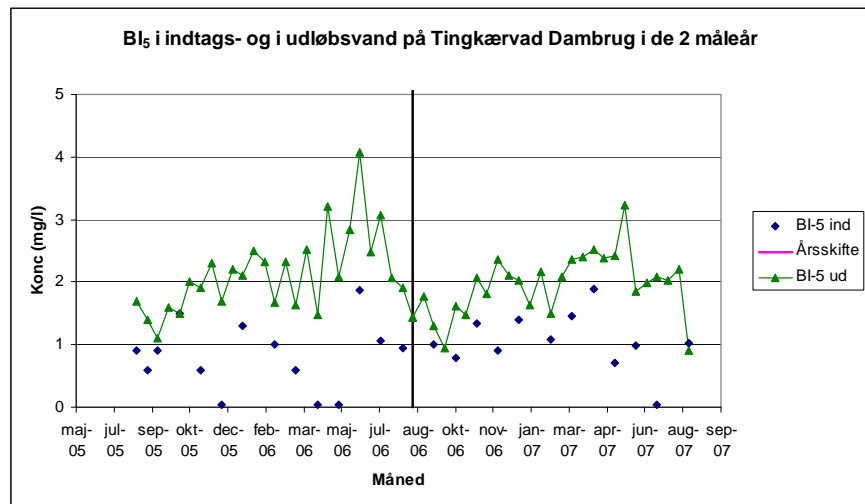
**Figur 24** Total kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Tingkærvad Dambrug og i udløbet fra dambruget til Vejle Å i første og andet måleår.



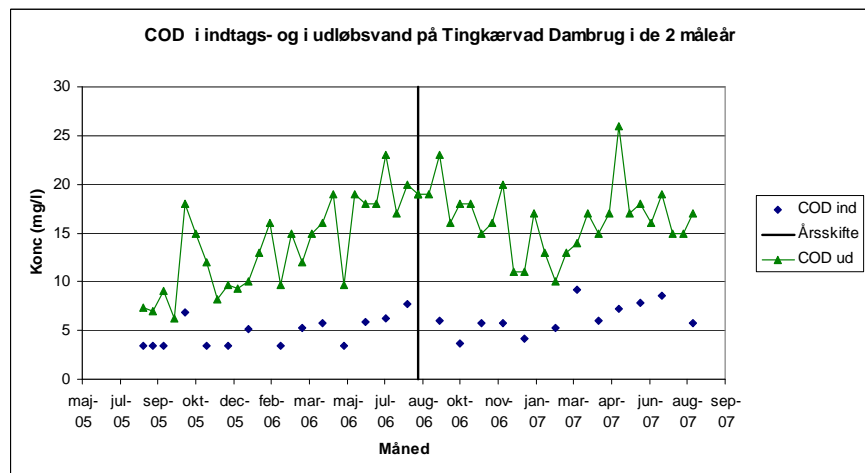
**Figur 25** Orthofosfat koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Tingkærvad Dambrug og i udløbet fra dambruget til Vejle Å i første og andet måleår.



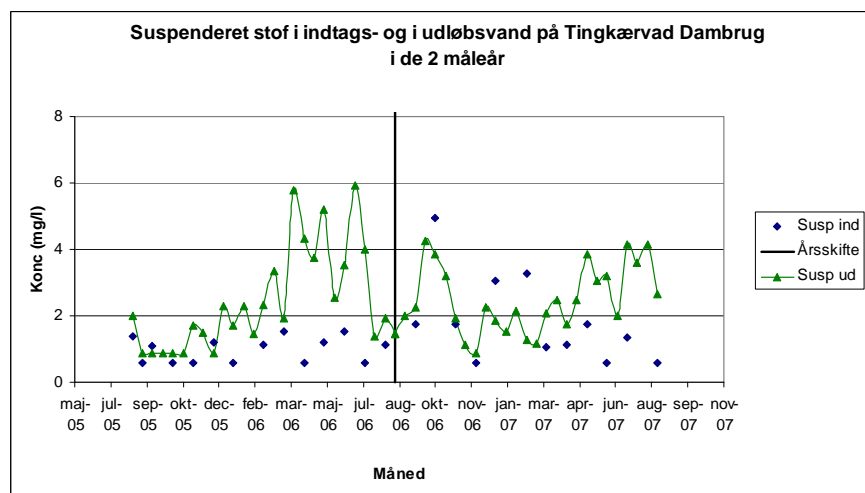
**Figur 26** Total fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Tingkærvad Dambrug og i udløbet herfra til Vejle Å i første og andet måleår.



**Figur 27** BI<sub>5</sub> koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Tingkærvad Dambrug og i afløbet fra dambruget til Vejle Å i første og andet måleår.



**Figur 28** COD-koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Tingkærvad Dambrug og i afløbet fra dambruget til Vejle Å i første og andet måleår.



**Figur 29** Suspendert stof koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Tingkærvad Dambrug og i afløbet til Vejle Å i første og andet måleår.

Stofkoncentrationerne i indtagsvandet, der stammer fra boring plus væld under og omkring plantelagunen viser kun små koncentrationsforskelle mellem første og andet måleår (figur 22-29), dog med en vis variation på koncentrationen af  $\text{BI}_5$ , COD og suspenderet stof.

For udløbsvandet fra Tingkærvad Dambrug sker der igennem første måleår en markant stigning for alle parametre undtagen nitrit+nitrat kvælstof, der har et markant fald og  $\text{BI}_5$ , der stiger frem til juni 2006 men herefter falder kraftigt med mod sen sommer/efteråret 2006. Andet måleår starter derfor på et højt koncentrationsniveau for alle parametre undtagen nitrat-nitrit kvælstof og  $\text{BI}_5$ . Koncentrationsstigningen gennem første måleår hænger tilsyneladende sammen med den lange opstartfase af produktionen på Tingkærvad Dambrug. Faldet i nitrat-kvælstof fra ca. 4 mg/l til 0,5 mg/l (figur 23) afspejler en øget omsætning i plantelagunen i takt med at der tilføres let omsætteligt organisk stof, idet der fra produktionsenhederne tilledes stigende mængder nitrat-kvælstof gennem første år.

Total kvælstof i udløbet fra Tingkærvad Dambrug falder noget fra det høje sommerniveau i første måleår gennem andet måleår men stiger lidt igen i sommeren 2007 (figur 24). Total kvælstof består primært af ammonium og nitrat+nitrit kvælstof, mens partikulært kvælstof (organisk kvælstof) kun udgør en mindre andel. Koncentrationsforløbet af nitrit-nitrat kvælstof (hvor langt hovedparten findes som nitrat) er nærmest i modfase med den tilsvarende ammonium-kvælstof koncentration i udløbet (figur 22 og 23). Ud over omsætningsprocesser i plantelagunen afspejler koncentrationsforløbet naturligvis tilførslen af disse stoffer.

I lighed med nitrat-kvælstof kan orthofosfat optages af planterne i plantelagunen i vækstsæsonen. Endvidere kan det i et vist omfang bindes til partikler herunder slam, der ligger på bunden af plantelagunerne. Udløbskoncentrationen for orthofosfat følger overordnet koncentrationen i tilførslen fra produktionsenhederne (figur 15 og 16), med de højeste koncentrationer forekommende om sommeren (figur 25). Optag af orthofosfat i planterne er ikke tilstrækkeligt stort til at reducere orthofosfat koncentrationen signifikant i plantelagunen. Total fosfor koncentrationen udløbet følger tilsvarende koncentrationen i tilførslen fra produktionsenhederne (figur 26). Koncentrationsniveauet i udløbsvandet er fordoblet fra første til andet måleår for total-fosfor.

I modsætning til første måleår, hvor COD-koncentrationen i afløbet fra dambruget stiger, er der overordnet set et fald i koncentrationen fra sommeren 2006 frem til foråret 2007 for herefter at stige (figur 28 og 29). Den biologisk omsættelige organiske fraktion,  $\text{BI}_5$  har et lidt andet forløb gennem de 2 måleår (figur 27) idet  $\text{BI}_5$  falder i begge måleår fra juni og frem til september, hvorefter de atter stiger. COD-koncentrationen er 6-7 gange højere end  $\text{BI}_5$  gennem de to måleår, på nær i august-oktober hvor den er 16-18 gange højere end  $\text{BI}_5$ . Sammensætningen af det organiske stof ændres således over året i plantelagunen. Koncentrationen af suspenderet stof er stigende frem til juli 2006, mens koncentrationen er lav i vinteren 2006-2007 og stiger frem til sommeren 2007, men ligger lidt lavere end i sommeren 2006 (figur 29).



## 7 Overholdelse af udlederkrav

I miljøgodkendelsen for Tingkæravad Dambrug er der opstillet en række udlederkrav i forsøgsperioden (*Vejle Amt, 2004*). Udlederkravene er i miljøgodkendelsen formuleret som: "... Ved vandets passage gennem dambruget må koncentrationen i afløbet ikke overstige nedenstående krav..", hvor de angivne kravværdier fremgår af tabel 8 og kap. 2.3. Vejle Amt har stillet krav om, at overholdelse af udlederkravene foretages ved tilstandskontrol for alle 5 parametre på koncentration af stoffer i udløbsvandet efter Dansk Standard 2399 (*Dansk Standard, 1999*), dvs. som afløbskontrol og med statistisk kontrolberegning som for afløbsdata fra virksomhed.

DS 2399 er imidlertid beregnet til kontrol alene på udledninger, dvs. hvor der ikke forekommer en koncentration i indløb (indtagsvand). Men udledninger fra dambrug bør foretages med udgangspunkt i forskellen i koncentrationen hen over et dambrug dvs. på koncentrationsforøgelsen over dambruget, jf. *Bekendtgørelse for modeldambrug (2002)* og anbefalingerne i faglig rapport nr. 60 fra DMU om "Afløbskontrol fra dambrug" (*Larsen og Svendsen, 1998*). Endvidere bør kontrollen for f.eks. total-kvælstof og total-fosfor gennemføres som transportkontrol.

Beregningen af amtets krav til overholdelse af kravværdier er statistisk ikke mulig. Der opereres med koncentrationsforøgelser i afløbet men DS 2399 kan kun anvendes på den faktiske koncentration i udledningerne og ikke på koncentrationsforskelle. Der skal i DS 2399 omregnes til logaritmen af koncentrationen og der kan ikke tages logaritmen af negative koncentrationer, som opstår i de tilfælde hvor indløbskoncentrationen er højere end den i udløbet fra dambruget. Endvidere er logaritmen til differencen mellem to koncentrationer (dvs.  $\log(a-b)$ ) ikke det samme som forskellen mellem logaritmen på de samme to tal (dvs. som  $\log(a) - \log(b)$ ). Det ville derfor ikke være fagligt korrekt at anvende DS 2399 ved udlederkontrol på dambrug, som opererer med forskelskoncentrationer.

I tabel 8 er udlederkontrollen dels beregnet efter DS 2399 på de faktisk målte koncentrationer i udledningen (dvs. uden korrektion for koncentrationen i indtagsvandet) og dels som forudsat i *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*, dvs. efter *Larsen og Svendsen (1998)* på koncentrationsforøgelsen, men med tilstandskontrol for alle kemiske parametre for at kunne sammenligne med den metode, miljøgodkendelsen foreskriver. Det antages, at sikkerheden for overholdelse af udlederkravene skal være 95 % (sikkerheden for miljøet) som forudsat i Dambrugsbekendtgørelsen og anbefalet i *Pedersen et al. (2003)*. Sædvanligvis regnes 95 % statistisk sikkerhed for at være temmelig høj. Når DS2399 alene kan beregnes på de faktiske udledninger beregnes en for skrap kontrol, hvorfor kontrollen beregnet efter *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)* vil være den korrekte at lægge til grund for vurderingen af overholdelsen af udlederkravene. I tabel 8 vises både udlederkontrollen får første og andet måleår.

Den statistisk beregnede udlederværdi, der sammenholdes med udlederkravet, findes som gennemsnitskoncentrationen plus spredningen på

koncentrationerne i kontrolperioden ganget med en statistisk justeringsfaktor jf. *Larsen og Svendsen (1998)* og *Pedersen et al. (2003)*. Kursiv i tabel 8 viser, hvor udlederkravene ikke har været overholdt for en given kemisk variabel ved den angivne kontrolmetode i kontrolperioden.

Kontrolparameter	Kravværdi i Miljøgodk. (mg l <sup>-1</sup> )	Udledn. efter DS2399 år 1/ år 2 (mg l <sup>-1</sup> )	Udledning efter Bekendt. modeldambrug år 1/ år 2 (mg l <sup>-1</sup> )	Teoretiske kravværdier jf. Dambrugsbekendtgørelsen (mg l <sup>-1</sup> )
Susp. stof	40,5	2,74 / 2,82	1,81 / 1,33	43,2 (3)
NH <sub>4</sub> -N	5,39	5,09 / 6,73	5,44 / 6,79	5,76 (0,4)
Total-N	8,09	7,24 / 9,04	6,53 / 8,62	8,6 (0,6)
Total-P	0,67	0,60 / 0,614	0,63 / 0,567	0,72 (0,05)
BI <sub>5</sub>	9,44	2,37 / 2,17	1,45 / 1,18	10,1 (0,7)

**Tabel 8** Kontrol på udledningerne fra Tingkærvad Dambrug for første og andet måleår. De beregnede statistiske udlederværdier er dels beregnet ud fra DS2399 = Dansk Standard for udlederkontrol (dvs. ikke på forskelskoncentrationen over dambruget men alene på udløbskoncentrationerne) dels beregnet efter miljøgodkendelsen men efter metoden anbefalet i Bekendtgørelsen om modeldambrug, jf. *Larsen og Svendsen (1998)* (dvs. på forskelskoncentrationen over dambruget), dog som tilstandskontrol for alle parametre. Udlederkontrollen er angivet for hvert af de to måleår. Der er beregnet efter en statistisk sikkerhed på overholdelse af udledninger på 95 %. Med kursiv er vist, hvor udlederkravene ikke er overholdt i hhv. første og andet måleår. I sidste kolonne er angivet de beregnede udlederkravværdier, hvis dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier (som er angivet i parentes) ganges med forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning til modeldambrug (720 l/s) og max. vandindtag efter ombygning (50 l/s).

Udlederkontrollen viser for begge måleår, at Tingkærvad Dambrug for suspenderet stof og BI<sub>5</sub> overholder udlederkravene til fulde uanset kontrolmetode i begge måleår. Dambruget har ikke overholdt de af amtet opsatte udlederkrav for forsøgsperioden hvad angår total kvælstof, uanset hvilken kontrolmetode der anvendes. Tilsvarende overholdes udlederkravene ikke for ammonium-kvælstof i andet måleår uanset kontrolmetode. Det fremgår, at udlederværdier har været lidt højere i andet måleår for ammonium-kvælstof og total fosfor, men en del lavere for suspenderet stof, total kvælstof og BI<sub>5</sub> uanset beregningsmetode, samtidig med at foderforbruget er øget. Udledningen efter Bekendtgørelsen for modeldambrug var 101 % i første og 126 % i andet måleår for ammonium kvælstof, for total kvælstof tilsvarende 81 % og 107 % af udlederkravene. De tilsvarende værdier for total fosfor er 94 % (år 1) og 85 % (år 1) og for BI<sub>5</sub> 15 % (år 1) og 13 % (år 2).

I tabel 8 er også angivet, hvad kravværdien ville blive efter Dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier, såfremt hele reduktionen i vandindtaget sammenlignet med før ombygningen til modeldambrug blev godskrevet dambruget, svarende til en faktor 14,4 (forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning på 720 l/s og efter ombygning på 50 l/s) på udlederkravværdierne. Der er for alle kravværdier skærpet med 7 % ift. fuld kompensation for reduceret vandindtag ved Tingkærvad Dambrug. Selv med fuld kompensation for reduceret vandforbrug på kravværdierne ville Tingkærvad Dambrug i andet måleår overskride udlederkravene for ammonium og total kvælstof. Endelig kan netto-vandindsivningen til plantelagunen på ca. 22 % i første måleår og 10 % i andet måleår i mindre omfang have reduceret koncentrationerne i udledningerne fra dambruget.

## 8 Massebalancer

### 8.1 Produktionsbidrag

I følge den førte driftsjournal har foderforbruget i det andet måleår i produktionsanlægget været på i alt 375,6 tons hvilket er 95,8 tons mere end i første måleår. Der er beregnet en produktion på 427,3 tons fisk (inkl. døde) svarende til en foderkvotient for hele produktionsanlægget på 0,879 sammenlignet med første måleårs 0,896, hvor der alt i alt blev produceret 312,2 tons. I kapitel 3.2 er redegjort for beregning af produktionsbidraget, som er angivet i tabel 9 for måleårene med en antagelse om 1 % foderspild. For måleår 1 er produktionsbidraget genberegnet jf. diskussionen i kapitel 3.2.

Produktionsbidrag	NH <sub>4</sub> - N		Total-N		Total-P		BI <sub>5</sub>		COD	
	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2
I kg	10.737	14.610	12.713	16.920	1.723	1.509	24.230	32.263	69.228	92.180
I kg pr. tons foder	38,4	38,9	45,4	45,1	6,2	4,0	86,6	85,9	247	245
I kg pr tons fisk i	34,4	34,2	40,7	39,6	5,5	3,5	77,6	75,5	222	216

**Tabel 9** Beregnede produktionsbidrag inkl. leveredam for hhv. første og andet måleår på Tingkærvad Dambrug opgjort i kg pr. tons samlet foderforbrug og kg pr. tons produceret fisk.

Det bemærkes, at produktionsbidraget beregnet i forhold til foderforbrug og produktion af fisk i det samlede produktionsanlæg har været lidt lavere i første måleår for alle parametre undtagen fosfor. Fosforindholdet i foderet var nemlig generelt lavere i andet måleår.

### 8.2 Massebalancer

For at kunne beregne, hvor meget stof der fjernes i forskellige dele af dambruget skal det opgøres, hvor store stofmængder der er tilført og afledt forskellige steder på dambruget. Hermed kan der opstilles massebalancer hen over f.eks. de 2 produktionsenheder, plantelagunerne, over hele dambruget m.v. Stofmængderne er (fraset produktionsbidraget) beregnet ved at gange en daglig vandmængde på et givent målested med en tilhørende døgnmiddelkoncentration. Vandmængderne måles som beskrevet i kapitel 2 kontinuert i en række målepunkter, for hvilke der er beregnet en døgnmiddel vandmængde, i afløbet fra dambruget ved at opstille en matematisk sammenhæng mellem målt vandstand og målt vandføring. De døgnlige stofkoncentrationer er fundet ved lineær interpolation mellem de målte døgnmiddelkoncentrationer fra prøvetagning af vandkemiske prøver hver 14. dag. Stofmængderne forskellige steder på dambruget fremgår af tabel 10.

Der er to kilder til stofinput: boringen + væld (indtagsvandet = I) og foder (produktionsbidraget P). Produktionsbidraget ses som et stofbidrag fra slamkegletømning i de to produktionsenheder og leveredam, fra returskylning af biofiltre i produktionsenhederne samt via de forøgede stofmængder, der løber ud af produktionsanlægget til plantelagunerne.

Produktionsbidraget er opgjort samlet for de to produktionsanlæg inkl. leveredam.

Som omtalt i kapitel 5.3 vindes der vand over plantelagunen, netto 10 % det andet måleår. Der er en vis usikkerhed på den vandmængde, der tilføres og afledes fra slambassiner, idet der kun tilføres vand i visse perioder, således at beregningerne er afhængige af korrekte tidsangivelser for, hvornår pumper fra slambrønde til slambassiner har kørt jf. kap. 5.1.

	Vand 1000m <sup>3</sup>	Susp kg	NH <sub>4</sub> -N kg	NO <sub>23</sub> -N kg	Total N kg	Ortho-P kg	Total P kg	BI <sub>5</sub> kg	COD kg
Indtagsvand væld til prod. 1	540	1.191	22	470	515	16	35	583	4.355
Indtagsvand væld til prod. 2	297	654	12	266	290	9	20	319	2.464
Indtagsvand Boring til prod. 2	3.107	593	21	132	161	5	20	334	1.945
Indtagsvand i alt (I)	1.147	2.437	55	867	965	29	75	1.235	8.763
Produktionsbidrag (P)			14.610		16.920		1.509	32.263	92.180
Samlet stofinput (I+P)	1.147	2.437	14.665	867	17.885	29	1.585	33.499	100.943
Slamkegler prod. enhed 1		9.318	60	0	490	66	425	8.427	24.839
Slamkegler prod. enhed 2		21.398	90	1	641	88	425	6.945	16.060
Biofilterskyl prod. enhed 1		4.640	57	15	343	3	113	1.458	5.636
Biofilterskyl prod. enhed 2		4.067	49	14	330	3	103	1.791	5.373
Tilført slamtank/-bassin i alt	19	39.422	256	30	1.804	160	1.066	18.621	51.908
Udløb leveredam til plantelagune	54	331	4	32	44	1	3	74	714
Udløb prod. enhed 1 til plantelagune	514	3.790	3.225	2.061	6.005	135	219	3.223	13.208
Udløb prod. enhed 2 til plantelagune	485	4.539	2.827	2.405	5.984	145	248	3.815	14.099
Klaringsvand fra slambassin	19	4.086	885	1	1.221	236	420	1.944	7.743
Tilført plantelagunen	1.070	12.747	6.941	4.499	13.254	517	889	9.056	35.763
Udløb dambrug 2. måleår	1.180	2.917	7.145	2.178	9.866	591	670	2.362	19.264
Udløb dambrug 1. måleår	1.289	3.160	5.610	2.034	8.422	489	681	2.768	17.814

**Tabel 10** Beregnede samlede stofmængder i andet måleår ved forskellige målesteder på Tingkærvad Dambrug. I = stofmængder i indtagsvandet. P = produktionsbidrag fra fiskeproduktionen (foder). Der kan ikke beregnes produktionsbidrag for suspenderet stof, nitrat og orthofosfat. Til sammenligning er nederst angivet stofmængder i udløb fra dambruget i 1. måleår. Det gennemsnitlige vandindtag har været ca. 38 l/s (år 1: 37 l/s).

I tabel 10 er beregnet stofmængderne over de enkelte dele af dambruget. I det første måleår var stofmængden i afløb fra produktionsenhederne generelt betydelig større end fra slambassinet (klaringsvand) for alle stofparametre på nær fosforfraktionerne. I det andet måleår er stofmængderne med klaringsvandet større for orthofosfat og total fosfor end i afløbet fra produktionsenhederne og af samme størrelsesorden for suspenderet stof, mens der for de resterende stofparametre er klart mest stof i afløb fra produktionsanlægget. Selv om foderforbruget har været 34 % højere i andet måleår er det kun for ammonium kvælstof og total kvælstof at der tilføres 10-20 % mere stof til slamtank, for de øvrige parametre er mængden den samme som i første måleår eller endog nogle få procent lavere. Der skal tages højde for at dambruget i løbet af de to måleår har forsøgt at optimere slamhåndteringen i slamtank og slambassin. Stofmængden i afløbet fra dambruget er steget for ammonium og total kvælstof (henholdsvis 27 % og 17 %), orthofosfat (2 %) og COD (8 %) og faldet for de andre parametre trods et øget foderforbrug på 34 %.

Plantelagunerne tilføres fortsat ammonium kvælstof med klaringsvandet fra slambassinerne grundet denitrifikationen i disse. Samlet set er en ret

stor del af det stof, der er tilbageholdt og overført til slamtank/-bassin i andet måleår blevet tilbageført til plantelagunerne.

## 9 Rensegrader og stoffjernelse

### 9.1 Beregning af rensegrader

I dette kapitel beregnes stoffjernelsen over hele dambruget og over del-elementerne i produktionsanlæg, plantelagune m.v. Rensegraden beregnes ud fra to beregningsmetoder. Rensegraden  $R_N$  for en given kemisk variabel er bestemt ud fra anvisningen i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)*, som

$$R_N (\%) = ((P - U_N) / P) * 100, \text{ hvor} \quad (1)$$

$P$  = produktionsbidraget

$U_N$  = dambrugets nettoudledning, dvs. målte udledning  $U_M$  minus  $I$  = input fra indtagsvand (boringer).

Denne metode kan kaldes nettorensesegraden, som svarer til at stoftilbageholdelsen over hele dambruget  $S_N$  for en given kemisk variabel bestemmes i procent af produktionsbidraget  $P$  for det samme stof, dvs.

$$R_N (\%) = S_N / P * 100$$

Endvidere beregnes en bruttorensesegrad  $R_B$  hvor stoftilbageholdelsen over dambruget  $S_N$  for en given kemisk variabel bestemmes i procent af den samlede stoftilførsel dvs. ift. produktionsbidraget  $P$  plus stofbidraget fra indtagsvand ( $I$ ), dvs.

$$R_B (\%) = (S_N / (I + P)) * 100 \quad (2)$$

Brug af ovenstående formler forudsætter at vandindtaget til produktionen udgør mindre end eller lig med 10 % af vandløbets medianminimumsvandføring, hvilket er opfyldt for Tingkærvad Dambrug, der i i begge måleår i gennemsnit har været godt 5 % af Vejle Å's medianminimumsvandføring på 720 l/s på strækningen opstrøms dambruget.

### 9.2 Rensegrader over hele dambruget

Målinger og beregninger for andet måleår viser at nettorensesegraden ( $R_N$ ) over hele dambruget har været 47 % for total kvælstof (N), 61 % for total fosfor (P) og 97 % for organisk stof udtrykt som  $BI_5$  (tabel 11) Rensegraden total kvælstof og for organisk stof er betydeligt højere end forudsætningerne i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* for type III modeldambrug, mens den lige overholdes for total fosfor. Bekendtgørelsen forudsætter rensegrader på henholdsvis 11 %, 60 % og 75 % for de tre kemiske variable for et type III modeldambrug uden mikrosigter. For total kvælstof skal der til de 11 % dog tillægges, at plantelagunerne forudsættes at fjerne 1 g N pr. m<sup>2</sup> pr. dag, dvs. 365 g pr. m<sup>2</sup> pr. år. Med de ca. 4.060 m<sup>2</sup> plantelagune i Tingkærvad Dambrug (jf. kapitel 11) svarende til

1.481 kg total kvælstof pr. år. Omregnet svarer dette til at nettorensesgraden for kvælstof mindst skal være 20 %, hvilket altså til fulde er opfyldt.

Rensegrader fra første måleår er genberegnet grundet reviderede produktionsbidrag og indsat i tabel 11. Nettorensesgraderne har i andet måleår været mellem 3-7 procentpoint højere på nær for total fosfor, hvor den har været 3 procentpoint lavere end i første måleår. Bruttorensesgraderne er lig med eller nogle få procentpoint lavere end nettorensesgraderne, men har i øvrigt tilsvarende ændringer fra første til andet måleår. Forskellen mellem netto- og bruttorensesgraderne afspejler, hvor meget stofbidraget fra indtagsvandet udgør af det samlede stofinput.

I de beregnede rensegrader indgår det stof, der tilføres plantelagunen grundet nettoindsivning i plantelagunen. Det betyder, at den beregnede  $U_N$  i formel 1 er for stor og de beregnede rensegrader er derfor et mindste mål for stoffjernelsen/-tilbageholdelsen over dambruget, der reelt har været lidt højere, hvilket diskuteres i kapitel 12.

	Vand (1000 m <sup>3</sup> )	NH <sub>4</sub> -N Kg	Total -N kg	Total -P kg	BI <sub>5</sub> kg	COD kg
Indtagsvand (I)	1.149	55	965	75	1235	8.763
Produktionsbidrag (P)	0	14.610	16.920	1.509	32.263	92.180
Samlet stofinput (I+P)	1.149	14.665	17.885	1.585	33.499	100.943
Målte udledninger fra dambruget (U <sub>M</sub> )	1.180	7.145	9.866	670	2362	19.264
Netto udledning U <sub>N</sub> (U <sub>M</sub> -I)	31	7.090	8.900	594	1127	10.501
Nettorensesgraden R <sub>N</sub> (%) jf. formel 1		51	47	61	97	89
Bruttorensesgraden R <sub>B</sub> (%) jf. formel 2		51	45	58	93	81
Stofudledning netto i g pr kg produceret fisk		16,6	20,8	1,4	2,6	24,6
Stofudledning brutto i g pr kg produceret fisk		16,7	23,1	1,6	5,5	45,1
Reviderede resultater fra 1. måleår						
Nettorensesgraden R <sub>N</sub> (%) jf. formel 1		48	42	64	93	82
Bruttorensesgraden R <sub>B</sub> (%) jf. formel 2		48	39	62	89	76
Stofudledning netto i g pr kg produceret fisk		17,8	23,7	2,0	5,3	39,8
Stofudledning brutto i g pr kg produceret fisk		18,0	27,0	2,2	8,9	57,1

**Tabel 11** Udledninger til vandløb og rensegrader over Tingkærvad Dambrug for andet måleår ud fra henholdsvis samlede stofinput til dambruget (brutto) og ud fra produktionsbidraget (netto). Endvidere er stofudledningerne beregnet brutto og netto ift. produceret mængde fisk. Til sammenligning er indsat genberegnete rensegrader for første måleår.

Man skal være opmærksom på, at for modeldambrugene under forsøgsordningen er der dispenseret ift. kvælstofudledninger således at det er den forventede rensegrad for fosfor, der har bestemt den tildelte foder-mængde. Det betyder, at dambruget formentlig skal op omkring en rensegrad på godt 60 % for total kvælstof for efterfølgende at kunne opfylde rensegraderne ift. til det tildelte foderforbrug, idet det dog skal erindres, at der ved Tingkærvad Dambrug er sket sammenlægning af foderkvoter.

Der er ikke udregnet rensegrader for suspenderet stof, da det ikke giver mening at beregne et produktionsbidrag for suspenderet stof.

I tabel 11 er der endvidere angivet den specifikke udledning (stofudledning i g pr. kg produceret fisk) beregnet både ift. den faktiske udledning fra dambruget (brutto) og ift. nettoudledningen fra dambruget det andet måleår (netto) og de tilsvarende værdier er vist for første måleår. Trods væsentlig højere foderforbrug og fiskeproduktion er såvel brutto- som nettoudledningen faldet for alle parametre, endog ganske betydeligt for organisk stof og fosfor.

Dette kan dels skyldes lavere foderkvotient, forbedret drift og bedre rensning over dambruget dels hvor meget stof, der er kommet med friskvand og ved nettoindsivning over plantelagunerne (se kapitel 12). Det bemærkes endvidere, at foderets lavere fosforindhold i andet måleår har medført, at dambruget, trods lidt lavere fosforrensegrad, har betydeligt lavere stoftab pr. kg. fisk i andet måleår.

Sammenlignes med de tilsvarende netto stofudledninger pr. gram produceret fisk for Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*), som var:

- $\text{NH}_4\text{-N}$ : 4-6 g pr. kg produceret fisk
- Total N: 5-11 g pr. kg produceret fisk
- Total P: 2 g pr. kg produceret fisk
- $\text{BI}_5$ : 20-28 g pr. kg produceret fisk

er udledninger i andet måleår fra Tingkærø Dambrug 3-4 gange højere for ammonium- og total kvælstof, lidt lavere for total fosfor og meget lavere for organisk stof.

### 9.3 Rensegrader over produktionsanlægget og over plantelaguner

I dette afsnit vises resultaterne for stoftilbageholdelse og rensegrader over produktionsanlægget (tabel 12) og over plantelagunerne (tabel 13). I forhold til afløb af klaringsvand fra slambassinerne kan der ikke skelnes om det stammer fra de 2 produktionsenheder eller fra leveredam, da vandet løber direkte fra leveredam ind i produktionsenheden. I tabel 13 er der derfor angivet den samlede mængde klaringsvand med tilhørende stofmængder.

Stoffjernelsen i produktionsanlægget er et mål for, hvad der fysisk opsamles i slamkeglerne og i biofiltrene og som føres over i slambassinerne. Det dækker endvidere også en omsætning af stof, som giver anledning til et stoftab i produktionsenhederne herunder leveredam samt i biofiltrene og evt. i slamkeglerne. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er fundet som forskellen mellem det stof, der tilføres produktionsanlægget via boringsvandet og produktionsbidraget minus det stof, der er målt i det vand, der løber fra de to produktionsenheder (inkl. leveredammen) til plantelagunerne.

For plantelagunerne beregnes stoftilbageholdelsen som forskellen mellem det stof, der tilføres fra de to produktionsanlæg inkl. leveredam samt med klaringsvandet fra slambassinet, minus det stof som udløber fra dambruget (afløb plantelaguner).



Rensegraderne er både i tabel 12 og 13 beregnet på to måder:

stoffjernelse i procent af stoftilførslen til produktionsanlægget (tabel 12) og til plantelagunerne (tabel 13)

stoffjernelse i procent af det samlede produktionsbidrag (tabel 12 og 13)

For plantelagunerne beregnes stoffjernelsen endvidere i procent af den samlede stoftilførsel til dambruget (dvs. i procent af I + P fra tabel 11)

For produktionsanlægget er stoffjernelsen desuden blevet beregnet som angivet i de punkterne ovenfor, men hvor der er modregnet for at en større del af det stof, der overføres til slambassinerne via tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre, efterfølgende ledes til plantelagunerne sammen med klaringsvandet fra slambassiner. Dette stof er dermed reelt ikke fjernet. Denne beregning er et mål for nettostoffjernelse i slamfælder og biofiltre samt slambassin mens stoffjernelsen udregnet uden der tages højde for afløb af stof med klaringsvandet, er et mål for brutto tilbageholdelsen/omsætningen i slamfælder og biofiltre samt slambassin (hvad der er tilbageholdt/fjernet). Jo bedre man bliver til at reducere stofmængderne i klaringsvandet, des tættere vil netto og brutto tallene komme på hinanden og desto større reel rensning vil renseforanstaltningerne i produktionsanlægget kunne præstere. Samtidig vil plantelagunerne skulle tilbageholde mindre stof og udledninger kan antages at blive reduceret idet det dog skal erindres, at en effektiv kvælstoffjernelse (denitrifikation) i plantelagunerne dels kræver letomsætteligt organisk stof og dels kræver kvælstof på nitratform. For andet måleår er tabel 13 udvidet ift. første måleår, da der er beregnet netto og brutto rensgrader for de enkelte dele af produktionsanlægget som slamkegler og biofiltre i produktionsenhederne.

For plantelagunerne er stoftilbageholdelsen/omsætningen også udtrykt i gram pr. m<sup>2</sup> plantelagune pr. dag for at kunne sammenligne dels med forudsætningerne, dels med andre dambrug (tabel 12).

Ved sammenligning af resultaterne i tabel 12 og 13 skal man være opmærksom på, at stof, der fjernes i produktionsanlægget og ikke senere tilføres plantelagunerne via klaringsvandet fra slambassinerne, ikke også kan fjernes i plantelagunerne. Det betyder, at plantelagunerne sandsynligvis kunne fjerne mere af nogle stoffer end de faktisk gør, hvis de blev belastet hårdere.

Umiddelbart fjernes mellem 59 % af stofinputtet i produktionsanlæggets to produktionsenheder af ammonium kvælstof og tilsvarende 70-79 % total fosfor og organisk stof (BI<sub>5</sub> og COD). Der fjernes en lidt højere andel, hvis stoffjernelse beregnes ift. produktionsbidraget. Til gengæld er stoffjernelsen af total kvælstof væsentligt lavere med 33 % af samlet input og 35 % af produktionsbidraget. Den reelle tilbageholdelse over produktionsanlægget er dog lavere, da en væsentlig del af det stof, der er ført over i slamtank/-bassin ved returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler, efterfølgende udledes til plantelagunerne med klaringsvandet. Den reelle nettofjernelse af stof i de 2 produktionsenheder ift. produktionsbidraget er således 65-73 % for organisk stof (COD og BI<sub>5</sub>), 53 % for ammonium kvælstof, 44 % for total fosfor, og kun 27 % for total kvælstof. For organisk stof er nettofjernelsen over produktionsanlægget i

procent højere i andet måleår, mens den for ammonium og total kvælstof er næsten den samme de to måleår, mens fjernelsen af total fosfor er en del lavere end i første måleår, grundet det betydeligt lavere indhold i føderet.

	Vand 1000m <sup>3</sup>	Susp. kg	NH <sub>4</sub> -N kg	Total N kg	Total P kg	BI <sub>5</sub> kg	COD kg
Indtagvand i alt (I)	1.149	2.437	55	965	75	1.235	8.763
Produktionsbidrag (P)	0	0	14.610	16.920	1.509	32.263	92.180
Samlet stofinput (i+p)	1.149	2.437	14.665	17.885	1.585	33.499	100.943
Afløb fra produktionsanlæg	1.051	8.660	6.056	12.033	469	7.112	28.020
Stoffjernelse over produktionsanlæg			8.609	5.853	1.115	26.386	72.923
Stoffjernelse i % af samlet input til dambrug			59 (59)	33 (29)	70 (78)	79 (73)	72 (66)
Stoffjernelse i % af produktionsbidraget	x		59 (59)	35 (31)	74 (82)	82 (77)	79 (71)
Stoffjernelse i slamkegler	0	30.715	150 1	1.131 6	849 54	15.372 46	40.899 41
Stoffjernelsen i slamkegler i % af input til dambruget			(1) 1	(8) 7	(41) 56	(75) 48	(67) 44
Stoffjernelsen i slamkegler i % af produktionsbidrag	x		(1)	(9)	(43)	(78)	(72)
Stoffjernelse via returskylning af biofiltre			106 1	673 4	217 14	3.249 10	11.010 11
Stoffjernelse via returskylning af biofiltre i % af input			(1)	(3)	(9)	(12)	(13)
Stoffjernelse via returskylning af biofiltre i % af produktionsbidrag	x		(1)	(4)	(10)	(13)	(14)
Beregnet omsætning i produktionsanlæg (inkl. evt. akkumulation heri)			8.352	4.049	50	7.765	21.015
Stoftilførsel til slambassin	199	39.422	256	1.804	1.066	18.621	51.908
Stoffjernelse med klaringsvand	199	4.086	885	1.221	420	1.944	7.743
Tilbageholdelse i slambassin	0,2	35.336	-629	583	646	16.677	44.166
Stoftilbageholdelsen i slambassin i % af tilførslen			-245 (-160)	32 (50)	61 (74)	90 (85)	85 (87)
Stoftilbageholdelsen i % af input til dambruget			-4 (-3)	3 (6)	41 (37)	50 (74)	44 (69)
Stoftilbageholdelsen i % af produktionsbidrag	x		-4 (-3)	3 (6)	43 (39)	52 (77)	48 (74)
Samlet stoffjernelse over produktionsanlæg minus tab med klaringsvand	x		7.723	4632	695	24.442	65.180
Stoffjernelse over produktionsanlæg minus tab med klaringsvand i % af samlet input (I+P)	x		53 (53)	26 (23)	44 (66)	73 (60)	65 (55)
Stoffjernelse over produktionsanlæg minus tab med klaringsvand i % af prod. bidrag (P)	x		53 (54)	27 (25)	44 (68)	73 (63)	65 (60)

**Tabel 12** Stoffjernelse over hele produktionsanlægget og de tilhørende rensegrader for andet måleår ved Tingkærved Dambrug for de kemiske variable. I parentes er angivet tal fra første måleår

Fjernelsen af ammonium i produktionsenhederne er et udtryk for at dette omdannes til nitrat i biofiltrene. Dermed fjernes der ikke kvælstof, men der sker i stedet en tilførsel af nitrat til plantelagunerne. Nitraten kan optages i planter men især omsættes til frit kvælstof, da der er slam på bunden af plantelagunerne med let-omsætteligt organisk stof og iltfat-

tige forhold. Nitrat udledes også med udledningerne fra dambruget. Yderligere nitrat kan blive tilført i bunden på plantelagunen i forbindelse med nettoindsivningen af vand til dambruget.

Af tabel 12 fremgår det, at betragtes de opgjorte stofmængder, der fraføres ved returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler, så er slamkegler især gode til at fjerne organisk stof og fosfor, da dette er bundet i partikulært materiale, der fanges i slamfælderne. Stoffjernelsen for disse stoffer er procentuelt ca. en faktor 4 højere end den tilsvarende stoffjernelse over biofiltrene. Herudover er der en omsætning af f.eks. ammonium kvælstof (nitrifikation). Betydningen af stofomsætning især i biofiltrene og af letomsætteligt stof i hele produktionsanlægget fremgår ligeledes af tabel 12. Over halvdelen af ammonium kvælstof (8.352 kg af et stofinput på 14.665 og mellem ¼ og 1/5 del af organisk stof omsættes (evt. akkumuleres) i produktionsanlægget. Denne opgørelse er forbundet med en vis usikkerhed, da den findes ved at trække en række tal fra hinanden, som hver har en mindre usikkerhed, således at den samlede usikkerhed på massebalancerne akkumuleres i den beregnede størrelse for stofomsætningen.

	Vand 1000 m <sup>3</sup>	Susp. kg	NH <sub>4</sub> -N kg	NO <sub>23</sub> - N kg	Total -N kg	Ortho -P kg	Total -P kg	BI <sub>5</sub> kg	COD kg
Tilført plantelagune i alt	1.070	12.747	6.941	4.499	13.254	517	889	9.056	35.763
Udløb dambrug	1.180	2.917	7.145	2.178	9.866	591	670	2.362	19.264
Tilbageholdelse i plantelagune	-109	9.830	-203	2.321	3.388	-74	220	6.694	16.499
Tilbageholdelse i plantelagune i % af input hertil	-10 (-22)	77 (73)	-3 (-11)	52 (40)	26 (20)	-14 (-38)	25 (-11)	74 (73)	46 (47)
Tilbageholdelse i plantelagune i % af produktionsbidrag (P)	x		-1 (5)		20 (17)		15 (-4)	21 (30)	18 (22)
Tilbageholdelse i % af brutto input dambrug (I+P)	-10 (-20)		-1 (-5)	268 (192)	19 (15)	-259 (-372)	14 (-4)	20 (29)	16 (21)
Tilbageholdelse g pr. m <sup>2</sup> pr dag (4.060 m <sup>2</sup> )	x	6,6	-0,14	1,6	2,3	-0,05	0,15	4,5	11,1
<b>Som ovenfor men korrigeret for estimeret tilført stof med netto indsvinningsvand</b>									
Estimat på stoftilførsel via netto-indsivning til plantelagune	110	181	5	66	82	3	7	113	665
Tilført plantelagune i alt	1.070	12.747	6.941	4.499	13.254	517	889	9.056	35.763
Udløb dambrug	1.180	2.917	7.145	2.178	9.866	591	670	2.362	19.264
Tilbageholdt i plantelagune (Målt)	0	10.011	-198	2.386	3.470	-71	227	6.807	17.163
Tilbageholdelse i plantelagune i % af input hertil	0	77	-2,8	52	26	-14	25	74	47
Tilbageholdelse i plantelagune i % af produktionsbidrag (P)	x		-1,4		21		15	21	19
Tilbageholdelse i % af brutto input dambrug (I+P)	-10	411	-1,3	275	19	-248	14	20	17
Tilbageholdelse g pr. m <sup>2</sup> pr. dag (4.060 m <sup>2</sup> ) 2. måleår	x	6,8	-0,13	1,6	2,3	-0,05	0,15	4,6	11,6
Tilbageholdelse g pr. m <sup>2</sup> pr. dag (4.060 m <sup>2</sup> ) 1. måleår	x	5,9	-0,38	1,0	1,6	-0,09	-0,03	5,1	11,2

**Tabel 13** Beregnet stoftilbageholdelse/-fjernelse i andet måleår over plantelagunen (4.062 m<sup>2</sup>) dels baseret alene på målinger og dels korrigeret for tilførsel af stof med det vand, der netto siver ind i plantelagunen, og de tilhørende rensegrader for kemiske variable for andet måleår. Den samlede tilførsel til plantelagunerne består af afløbsvand fra produktionsanlægget og klæningsvand fra slambassin samt stof i nettoindsivningsvand. I parentes er angivet resultater fra første måleår og i nederste række er tilbageholdelsesraterne angivet for første måleår.

Såfremt der ikke tages højde for, at der med nettovandindsivningen fra bund og sider af plantelagunen evt. også kan tilføres stof, tilbageholdes/fjernes der intet af det tilførte ammonium kvælstof i plantelagunerne. Derimod tilbageholdes 52 % af det tilførte nitrat kvælstof, og 25-26 % for total fosfor og total kvælstof. Der omsættes meget letomsætteligt organisk stof (74 % af tilført  $\text{BI}_5$ ), mens tilbageholdelsen af det tilført COD er lidt lavere med 46 %. I andet måleår er den procentuelle tilbageholdelse af tilførslen til plantelagunen øget markant for fosforforbindelserne i forhold til første måleår, der er en uændret procentuel tilbageholdelse for organisk stof mens der ses en mindre forøgelse for kvælstoffraktio-  
nerne og suspenderet stof.

Ammonium-kvælstof og orthofosfat er på opløst form og kan derfor følge med det vand, der siver ind i plantelagunerne. Det ses af, at tilbageholdelsen for de opløste fosfor- og kvælstofkomponenter beregnes til at være negativ, hvilket kan betyde at der netto tilføres stof plantelagunen ved indsivning. Det er ikke muligt præcist at vurdere indstrømningsmønstret for de netto 10 % af tilførte vand til plantelagunen som sker ved indsivning. Det er her antaget, at den kemiske sammensætning er en blanding af den kemiske sammensætning, der er fundet for hhv. vældet og boringen. Dette er anvendt for at estimere et bud på stoftilførslen til plantelagunen og som det fremgår af tabel 13 giver det et relativt begrænset stoffbidrag og fortsat negativ tilbageholdelse af ammonium kvælstof og opløst fosfor. Det kan betyde, at stoffkoncentrationen i det vand der indsiver reelt har en højere koncentration end i indtagsvandet – se kapitel 12. De korrigerede værdier for stoffjernelse er både procentuelt og pr. overfaldeareal plantelagune næsten lig de målte værdier. En underestimering af stoftilførsel ved indsivning betyder, at de beregnede rensegrader over plantelagunen er minimumsestimater.

Sammenlignes rensegraden i plantelagunen beregnet i forhold til produktionsbidraget med de tilsvarende rensegrader i produktionsanlægget (når der er taget højde for stoftilførsel med klaringsvandet) fjernes der i produktionsanlægget en langt større del af især ammonium (53 %) men også af total- kvælstof (27 %) og total fosfor (46 %) end i plantelagunerne, hvor der kun fjernes henholdsvis 0 %, 21 % og 15 %. Tilsvarende er netto rensegraden større i produktionsanlægget for  $\text{BI}_5$  og COD (henholdsvis 76 % og 71 %) sammenlignet med plantelagunerne (henholdsvis 21 % og 18 %). Sammenlignes netto stoffjernelsen med den aktuelle belastning fjerner produktionsanlægget en væsentlig højere andel af alle stoffer. Det skal erindres, at fjernes meget stof i produktionsanlægget er der potentielt mindre for plantelagunen at fjerne.

Stoffjernelsen ift. overfladearealet i plantelagunerne er på 2,3 g N pr.  $\text{m}^2$  pr. døgn for total kvælstof, hvilket er over det dobbelte af forudsætnin-  
gen for modeldambrugene på 1,0 g pr.  $\text{m}^2$  pr. døgn. Dette tal opnås, selv om stoftilførslen grundet nettoindsivning til plantelagunen kan være underestimeret. Kvælstoffjernelsen over plantelagunen har i andet måleår været 50 % større end i første måleår. Det er den relativt beskedne nettojernelse af kvælstof andre steder i dambruget som medfører, at den samlede fjernelse af kvælstof tilsyneladende ikke er helt tilstrækkelig til at kunne overholde udlederkravene kontrolleret efter DS2399. For total fosfor og for  $\text{BI}_5$  har stoffjernelsen pr.  $\text{m}^2$  plantelagune været ca. 3 gange højere end resultaterne fra Døstrup Dambrug, som var (Fjorback et al., 2003):

- 0,16 - 0,29 g NH<sub>4</sub>-N pr. m<sup>2</sup> plantelagune pr. døgn
- 0,03 – 0,07 g fosfor pr. m<sup>2</sup> plantelagune pr. døgn
- 1,8- 2,5 g BI<sub>5</sub> pr. m<sup>2</sup> plantelagune pr. døgn.

Stoffjernelserne/stoftilbageholdelserne pr. m<sup>2</sup> plantelagune er for alle stoffer højere end de fundne første års (genberegnete) resultater på nær for BI<sub>5</sub>, hvor der er et beskedent fald. I den forbindelse har det betydning at nettovandindsivningen over plantelagunen andet måleår på 10 % er mindre end i det første måleår med 22 %. I øvrigt henvises til kapitel 12.

## 9.4 Sammenligning af stoftab over dambruget

I dette afsnit sættes summen af stoffjernelse forskellige steder på dambruget til 100 % for direkte at kunne sammenligne stoffjernelsen over:

- Produktionsanlægget, hvor der henholdsvis er taget højde for stoffjernelse med klaringsvandet (tabel 12) og ikke tages højde for det (figur 30).
- Plantelagunerne
- til vandløbet, dvs. hvad der tilføres af stof til Vejle Å ved udløb fra dambruget

I tabel 14 findes værdierne ved:

$$\text{Samlet nettostoffjernelse} = (PA_s - KV_s) + PL_s + VL_s, \text{ hvor} \quad (3)$$

PA<sub>s</sub> = stoffjernelse over produktionsanlægget brutto, dvs. uden kompensation for stoftab fra slambassiner med klaringsvandet

KV<sub>s</sub> = stoffjernelse med klaringsvandet fra slambassinerne

PL<sub>s</sub> = stoffjernelse over plantelagunerne

VL<sub>s</sub> = stoffjernelse fra dambruget til vandløbet via udløbet fra dambruget

Idet den samlede nettostoffjernelse sættes til 100 % beregnes de tre andre størrelser i ligning 3 som procent af den samlede nettostoffjernelse.

I figur 30 er ligning 3 ændret til:

$$\text{Samlet bruttostoffjernelse} = PA_s + PL_s + VL_s \quad (4)$$

og det samlede bruttostoffjernelse er sat til 100 %. En del af det stof, der fjernes i produktionsanlægget ved overførsel til slambassinerne, tabes igen med klaringsvandet, og denne andel er vist som en negativ fjernelse i figur 31.

Nettofjernelsen over produktionsanlægget (når der er kompenseret for stoftab fra slambassinerne med klaringsvandet) viser (jf. tabel 12), at andelen af den samlede stoffjernelse over dambruget i andet måleår er 58-76 % for ammonium kvælstof, total fosfor og organisk stof, hvorfor pro-

duktionsanlægget er den vigtigste renseforanstaltning ift. disse stoffer. For total-kvælstof har produktionsanlægget også størst betydning (35 %), og fjernelsen er næsten dobbelt så stor som over plantelagunen (17 %). Trods renseforanstaltningerne, udledes der ligeså meget total kvælstof til Vejle Å, som der fjernes over dambruget. Andelen af ammonium kvælstof, som tabes til vandløbet er også relativ høj og udgør ca. 47 % af det samlede stoftab over dambruget. For total fosfor udgør stoffjernelsen til vandløbet 28 % og for COD 17 % af det samlede stoftab over dambruget, mens det for BI<sub>5</sub> dog kun er beskedne 6 %. Samlet er det procentuelle stoftab til Vejle Å blevet lidt mindre i det andet måleår for samtlige stoffer. Eftersom stofinput med indsivningsvandet synes at være underestimeret er rensegraderne over plantelagunen minimumsværdier og uledningsandelen til vandløbet derfor maksimumsværdier.

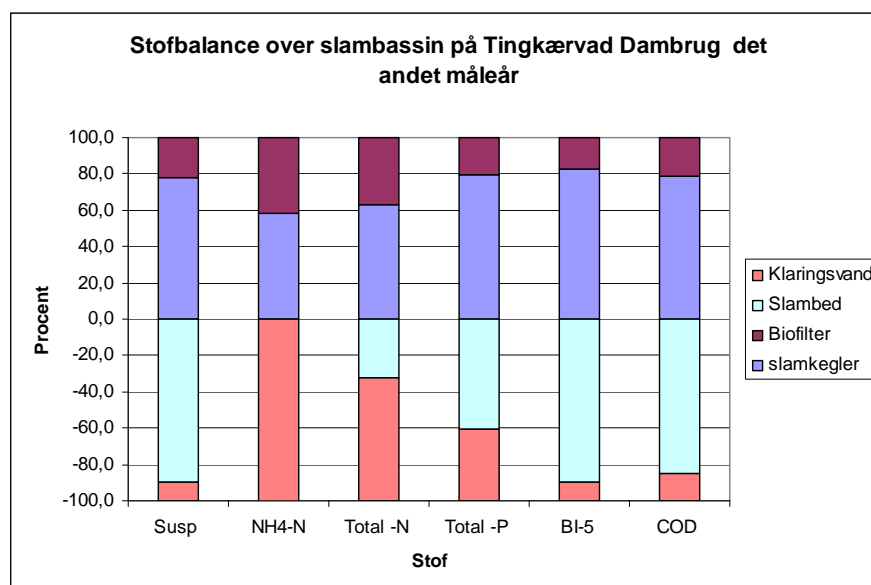
Samlet viser tabel 14, at der for kvælstof fortsat er potentiale for øget stoffjernelse på dambruget ved ændret drift/indretning og/eller yderligere renseforanstaltninger; hvilket der også arbejdes på.

	NH <sub>4</sub> -N (%)		TN (%)		TP (%)		BI <sub>5</sub> (%)		COD (%)	
	1. År	2. År	1. År	2. År	1. År	2. År	1. År	2. År	1. År	2. År
<b>Produktionsanlæg – klaringsvand (PA<sub>s</sub> – KV<sub>s</sub>)</b>	58	58	31	35	73	63	69	76	63	69
<b>Fjernelse i plantelagune (PL<sub>s</sub>)</b>	-5	-1	14	17	-3	9	23	18	17	14
<b>Til vandløb (VL<sub>s</sub>)</b>	47	43	55	49	30	28	9	6	20	17

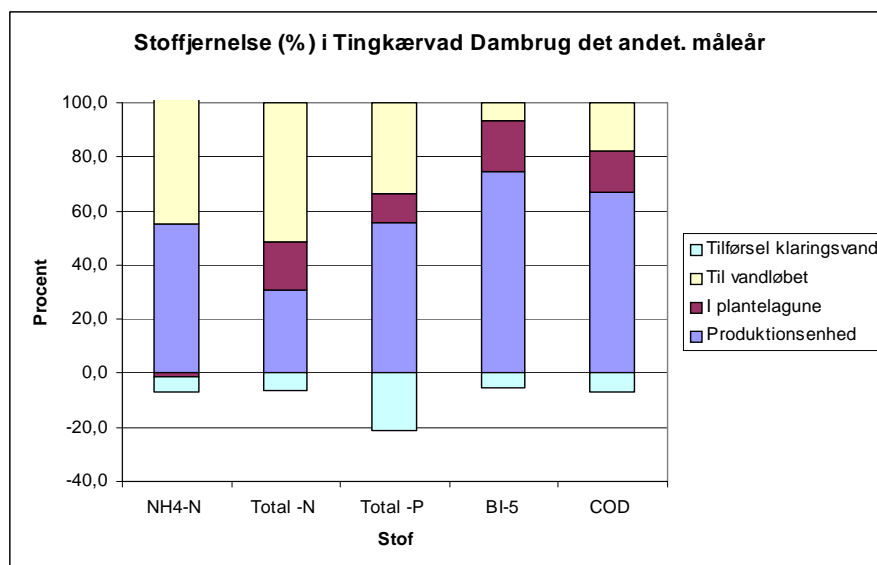
**Tabel 14** Sammenligning af netto stoffjernelse over produktionsanlægget (dvs. hvor der er kompenseret for stoftab med klaringsvandet til plantelagunen), plantelagunerne og stoftilførsel til vandløb angivet for begge måleår (kaldet år 1 og år 2). Tal fra tabel 12 og 13. Tal for første måleår er genberegnet.

Analyseres stofbalancen over slambassinet fremgår det, at for alle stoffer er tilførsel ved tømning af slamkeglerne den vigtigste kilde til stoftilførsel (figur 30). En ganske stor andel af det total fosfor (39 %), der tilføres slamtank/-bassin fra produktionsenhederne, mistes med klaringsvandet. Tilsvarende fraføres 10 % af BI<sub>5</sub> og 15 % af COD. Slamtank/-bassin er netto producent af ammonium kvælstof. Det skyldes, at når tilført nitrat denitrificeres til frit kvælstof, som afgasser til atmosfæren, sker en samtidig dannelse af en mindre del ammonium kvælstof. Det medfører samtidig, at stoftilbageholdelsen af total kvælstof over slamtank/-bassin er ret lav (32 %).

Tabet med klaringsvandet var det første måleår betydelig, ikke mindst hvad angår total fosfor. I andet måleår er det procentuelle tab med klaringsvandet af samme størrelsesorden eller reduceret lidt for alle parametre, undtagen for total-fosfor, der er fordoblet (figur 31). Det er ikke optimalt, at så stor en andel af total-fosfor, som allerede er blevet fjernet i slamkegler og biofiltre og ført over i slambassiner, ledes tilbage til plantelagunen. Man skal dog være opmærksom på, at en del af stoftabet med klaringsvandet efterfølgende fjernes i plantelagunerne, dvs. den absolutte stoffjernelse i disse kan blive reduceret ved en lavere belastning. Endvidere indgår det organiske stof i denitrifikationen i plantelagunen, hvorved kvælstoffjernelsen forbedres.



**Figur 30** Stoffjernelse over slambassinerne på Tingkærvad Dambrug det andet måleår. Stoffinput til slambassinerne tilføres fra returskylning af biofiltere og tømning af slamkegler i det samlede produktionsanlæg inkl. sættefisk + leveredam. Stoffindholdet i klaringsvandet er udtryk for den stofmængde, der tabes fra slambassinerne.



**Figur 31** Stoffjernelse på Tingkærvad Dambrug i det andet måleår. Summen af stof, fjernet i produktionsanlægget og over plantelagunerne samt tilført vandløbet er sat til 100 %. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er vist som brutto tilført slambassinerne, men da der bliver tilbageført stof med klaringsvandet til plantelagunerne er dette bidrag vist som en negativ stoffjernelse, dvs. nettofjernelsen (%) er forskellen mellem den mørkeblå og den lyseblå søjle. Baseret på tabel 12 og 13.

## 10 Vandløbsfauna

Der er foretaget indsamling af smådyrfaunaen i Vejle Å med henblik på en biologisk vurdering af tilstanden på tre stationer op- og nedstrøms for Tingkærvad Dambrug. Indsamling og resultatbehandling er foretaget efter retningslinierne i *Miljøstyrelsen (1998)*. Den opstrøms station er beliggende opstrøms for både Tingkærvad Dambrug og dambruget på modsatte side af Vejle Å (Kobberbæk Dambrug). Ca. 25 meter opstrøms for udløbet fra Tingkærvad Dambrug, men nedstrøms for udløbet fra dambruget på modsatte side af vandløbet er den midterste station beliggende. Den tredje station ligger ca. 100 meter nedstrøms for udløbet fra Tingkærvad Dambrug.

### 10.1 Fysiske forhold i Vejle Å

Strækningen, hvor faunaprøven tages opstrøms for Tingkærvad Dambrug, er omgivet af skov og natureng. Strækningen er delvis lysåben. Vandløbet er 5-7 m bredt med en middeldybde på ca. 0,5 meter. Strømmen er god over en varieret vandløbsbund med huller og stryg. Der er partier med grus samt enkelte områder med sten. Bunden er dog domineret af sand. Grøden udgør i sommerperioden ca. 40-50 % dækning. Strækningens fysiske indeks har ligget mellem 30-41, svarende til god fysisk kvalitet (*Pedersen et al. 2007*).

Den midterste station ligger lysåben. Vandløbet er her 4-5 meter bredt med en middeldybde på 0,6-0,8 meter. Dybden er dog afhængig af om grøden er skåret. Der er udvikling af huller og stryg. Vandløbsbunden er stort set domineret af sand, men med enkelte partier af fint grus. Dele af vandløbsbunden er dog noget blød. Vandløbets vegetation er relativt veludviklet og kan udgøre op til 60-70 % dækning. Strækningens fysiske indeks har ligget på 22-26, svarende til moderat fysisk kvalitet.

Stationen nedstrøms for Tingkærvad Dambrug ligger delvist lysåben med natureng på den ene side og med elleskov på den anden side. Vandløbet er 4-7 meter bredt, med bundforhold der næsten helt er domineret af sand. Stedvis er der dog ganske lidt fint grus. Dybden er ca. 0,5-0,6 meter. Der er udviklet huller og stryg, men sandbunden er stedvis noget blød. Vandløbets vegetation udgør i sommerperioden 50-60 % dækning. Strækningens fysiske indeks har ligget mellem 24-29, svarende til moderat fysisk kvalitet.

### 10.2 Smådyrfauna

Der er i alt i 15 prøver (5 datoer med hver tre prøver) udført af DMU i perioden december 2004 til juni 2007 registreret 67 forskellige taxa fra de tre stationer i Vejle Å. De artsrigeste grupper er vårfluer, biller, slørvinger og dansemyg med henholdsvis 16, 6, 6 og 5 arter/taxa. Dansemyg er dog kun bestemt til overordnede taxa, og gruppen indeholder således væsentlig flere arter. Ferskvandstangloppen *Gammarus pulex*, døgnfluer af slægten *Baetis*, dansemyg fra grupperne Orthocladiinae og Tanytarsi-



ni, børsteorme Oligochaeta, vandbænkebidderen *Asellus aquaticus* og kvægmyg Simuliidae er generelt talrigt forekommende ved prøvetagningerne hen gennem perioden. Vandbænkebidderen *Asellus aquaticus* er forekommet ved tre af prøvetagningerne med 200-500 individer på alle tre prøvetagningslokaliteter. Ved de to prøvetagninger i juni 2006 og juni 2007 er individtætheden lavere med 5-57 individer pr. prøve.

Ovennævnte 6 faunagrupper udgør samlet 67-96 % af det totale individantal i prøverne fra december 2004 til juni 2007. En række rentvandsarter er fundet fåtalligt i prøverne. Dette gælder sneglen *Ancylus fluviatilis*, slørvingerne *Brachyptera risi*, *Amphinemura standfussi* og *Leuctra spp.*, billen *Elmis aenea* og vårfluerne *Rhyacophila spp.*, *Brachycentrus subnubilis*, *Silo pallipes* samt *Sericostoma personatum*. Den eneste rentvandsart der er fundet forholdsvis talrigt er døgnfluen *Seratella ignita*, der optræder relativt hyppigt i prøver fra sommerperioden. Blandt ovenstående rentvandsarter må *Seratella ignita* dog karakteriseres som en af de mest tolerante arter. Alt i alt må faunaen på alle tre stationer i Vejle Å betragtes som domineret af forureningstålende arter, og de mest udprægede rentvandsarter er kun fundet yderst fåtalligt.

Hen gennem perioden december 2004 til juni 2007 har børsteorme Oligochaeta, vandbænkebidderen *Asellus aquaticus* og kvægmyg Simuliidae udvist svingninger i individantal. Der er dog ikke nogen entydig tendens mod lavere individtal. Dette gælder både op- og nedstrøms for Tingkær vad Dambrug. I juni 2007 ved den sidste prøvetagning var antallet af vandbænkebidderen *Asellus aquaticus* lavt (< 10 pr. prøve), mens antallet af børsteorme Oligochaeta fortsat var højt nedstrøms for Tingkær vad Dambrug samtidigt med at antallet af kvægmyg Simuliidae var højt på alle tre prøvetagningslokaliteter (500-2000).

Tilstanden udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindeks på lokaliteten opstrøms for Tingkær vad Dambrug (Vejle Å, opstrøms) har gennem perioden december 2004 til juni 2007 svinget mellem DVFI 4, 5 og 6 (tabel 15). I 3 ud af 11 tilfælde har tilstanden været DVFI 4 svarende til at målsætningen for vandløbet ikke er opfyldt. Som helhed består faunaen, som angivet, ovenfor af forureningstolerante former, og udprægede rentvandsformer mangler næsten helt. Nedstrøms for Tingkær vad Dambrug (Vejle Å, nedstrøms) har faunaklassen hen gennem perioden ligget på 3, 4 og 5, og målsætningen har kun i 4 ud af 11 tilfælde været opfyldt (DVFI=5). I disse 7 tilfælde med manglende målopfyldelse nedstrøms for Tingkær vad Dambrug har der heller ikke været målopfyldelse på stationen umiddelbart opstrøms for Tingkær vad Dambrug (den midterste station). Tolkning af effekten af udledningen fra Tingkær vad Dambrug i Vejle Å vanskeliggøres således i betydeligt omfang af, at vandløbet generelt er noget belastet fra andre forureningskilder. Endvidere er en spærring i Vejle Å opstrøms Tingkær vad Dambrug ved starten af 1. måleår blevet fjernet. Det har forbedret faldforholdene opstrøms dambruget og givet anledning til øget sandtransport nedstrøms for stryget og i en periode aflejring af sand i vandløbet nedstrøms Tingkær vad Dambrug

	DMU/amt/kommune	Vejle Å, opstrøms	Vejle Å, mid- terste station	Vejle Å, nedstrøms
<b>Maj 2004</b>	Vejle Amt	6	4	5
<b>December 2004</b>	DMU	4	4	5
<b>Maj 2005</b>	Vejle Amt	6	4	4
<b>September 2005</b>	DMU	4	4	4
<b>November 2005</b>	Vejle Amt	6	4	3
<b>Maj 2006</b>	Vejle Amt	4	4	4
<b>Juni 2006</b>	DMU	5	5	5
<b>Oktober 2006</b>	Vejle Amt	5	4	4
<b>December 2006</b>	DMU	5	4	4
<b>Juni 2007</b>	DMU	5	4	3
<b>Oktober 2007</b>	Vejle Kommune	6	4	5

**Tabel 15.** Tilstanden i Vejle Å op- og nedstrøms Tingkærvad Dambrug udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindeks. Målinger foretaget af henholdsvis Vejle Amt, DMU og Vejle Kommune.

## 11 Planter i grødefyldte bassiner

De grødefyldte bassiner som udgør plantelagunen (en del af de tidligere produktionsdamme og føde-/bagkanaler) er blevet opmålt og nogle væsentlige karakteristika er angivet i tabel 16.

Plantelagunen ved Tingkærvad Dambrug	
Antal grødefyldte bassiner/kanaler	8 bassiner + 385 m kanaler
Samlet areal	4.062 m <sup>2</sup>
Middeldybde	0,65 m
Samlet volumen	2.647 m <sup>3</sup>
Gennemstrømning	Måleår 1: 33,5 l/s Måleår 2: 33,9 l/s
Beregnet opholdstid (middel)	Måleår 1: 22 timer Måleår 2: 22 timer

**Tabel 16.** Antal bassiner/kanaler, samt areal, middeldybde og volumen af grødefyldte bassiner som plantelagunen består af på Tingkærvad Dambrug. På baggrund af den målte gennemstrømning er den gennemsnitlige opholdstid beregnet.

Med henblik på registrering af plantedækning og forekomst af de enkelte arter er der defineret i alt 12 bassiner og kanalafsnit. Der er her foretaget registrering af vegetationens samlede dækning, samt dækning af forekommende plantearter på en 6 trins skala (0-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-75, 75-100 % dækning). Ved maksimal udvikling af vegetationen i september 2006 og 2007 er der udtaget prøver fra de dominerende plantearter til bestemmelse af tørvægt pr. m<sup>2</sup>. Efterfølgende er de udtagne planter blevet analyseret for indhold af kvælstof og fosfor, således at planternes samlede indhold af kvælstof og fosfor gennem året kan beregnes. En oversigt med indholdet af kvælstof og fosfor pr. gram tørvægt af de enkelte plantearter findes i tabel 17.

Art	Kvælstof	Fosfor
	(g N pr. kg tørvægt)	(g P pr. kg tørvægt)
Sødgræs (n = 26)	33,3	4,2
Dunhammer (n = 4)	21,1	8,7
Brøndkarse (n = 8)	52,0	7,4
Vandpest (n = 9)	48,3	14,8
Liden Andemad (n = 28)	49,6	8,7
Trådalger (n = 5)	41,1	8,5

**Tabel 17** Indhold af kvælstof og fosfor i de fem dominerende plantearter i de grødefyldte bassiner (plantelagunen) i Tingkærvad Dambrug. Indholdet af kvælstof (N) og fosfor (P) er målt i prøver ved maksimal plantedækning (september 2006 og 2007). Antallet af prøver for hver planteart er angivet (n). Sødgræs i de grødefyldte bassiner består 60 % af Manna Sødgræs og 40 % af Høj Sødgræs (vægtede gennemsnit for både N og P værdier).

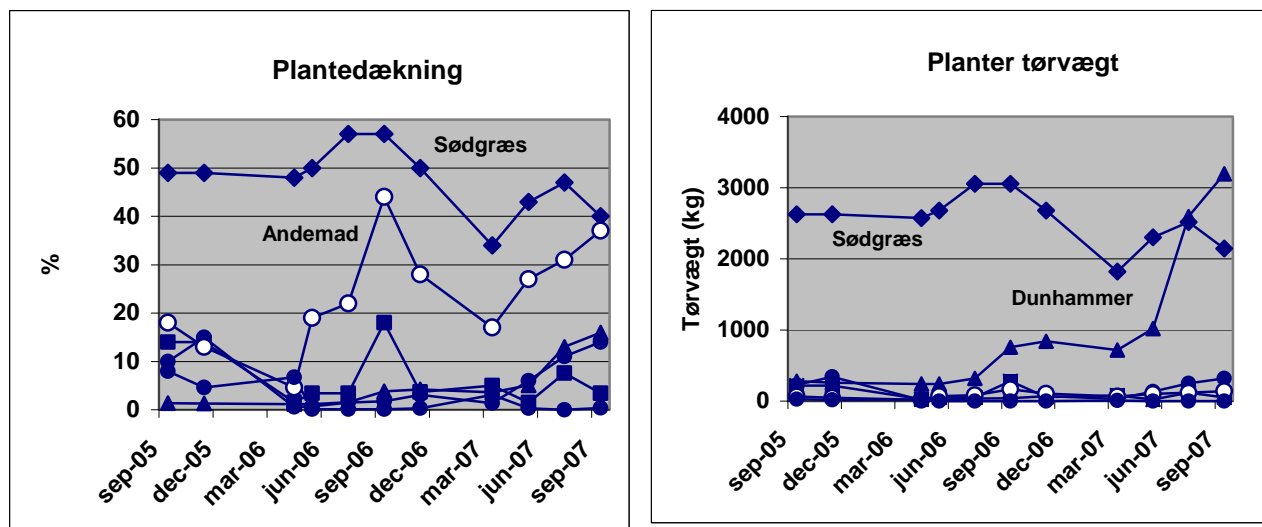
Der er i alt registreret 19 plantearter i plantelagunen i perioden september 2005 til september 2007. Vurderet ud fra plantedækningen har Sødgræs domineret gennem hele perioden, hvor dækningen udgør 34-57 % (figur 32). Selv i vinterperioden og det tidlige forår er der således en væsentlig dækning af Sødgræs i plantelagunen. Liden Andemad udviser en tydeligere sæsonmæssige variation med 5-17 % dækning i vinter og forår. Herefter opbygges dækningen af Liden Andemad til ca. 40 % i september 2006 og 2007. Dunhammer, Brøndkarse og Vandpest har haft en mindre dækning og ud-

gør typisk op til 6 % i vinterperioden. Ved maksimal plantedækning i september 2006 og 2007 har disse arter tilsammen op til 15-18 % dækning. I løbet af perioden september 2005 til september 2007 får Dunhammer gradvist større dækning, og udgør i de tre år henholdsvis 1,4 %, 3,8 % og 16 %. Trådalger forekommer relativt sporadisk i de grødefyldte bassiner, og udgør på intet tidspunkt mere end 8 % af dækningen.

Baseret på tørvægt dominerer Sødgræs i 2005 og 2006 med 2.570-2.680 kg i plantelagunen som helhed (figur 32 og tabel 18). Dunhammer udgør i 2005 og begyndelsen af 2006 240-320 kg, hvorefter mængden af Dunhammer øges sensommer og efterår 2006 til 720-840 kg. Dette niveau forbliver uændret i vinteren 2006-07, og øges herefter gennem sommeren og efteråret 2007 til næsten 3200 kg tørvægt. Ingen af de øvrige arter findes på noget tidspunkt med mere end ca. 340 kg i de grødefyldte bassiner.

Art	Dækning (%)		Tørvægt (g m <sup>-2</sup> )	
	marts-maj	sept.-nov.	marts-maj	sept.-nov.
Sødgræs	34-50	40-57	449-660	528-752
Dunhammer	1,2-5,1	1,3-16	59-251	64-787
Brøndkarse	0,6-6,0	1,8-15	3-34	10-84
Vandpest	1,5-5,0	3,4-18	6-19	13-69
Liden Andemad	4,6-27	13-44	4-25	12-40
Trådalger	0,1-6,7	0,1-8,0	0-5	0-7

**Tabel 18** Dækning og tørvægt af de 6 hyppigst forekommende planter i plantelagunen i Tingkæravad Dambrug i perioden september 2005 til september 2007.



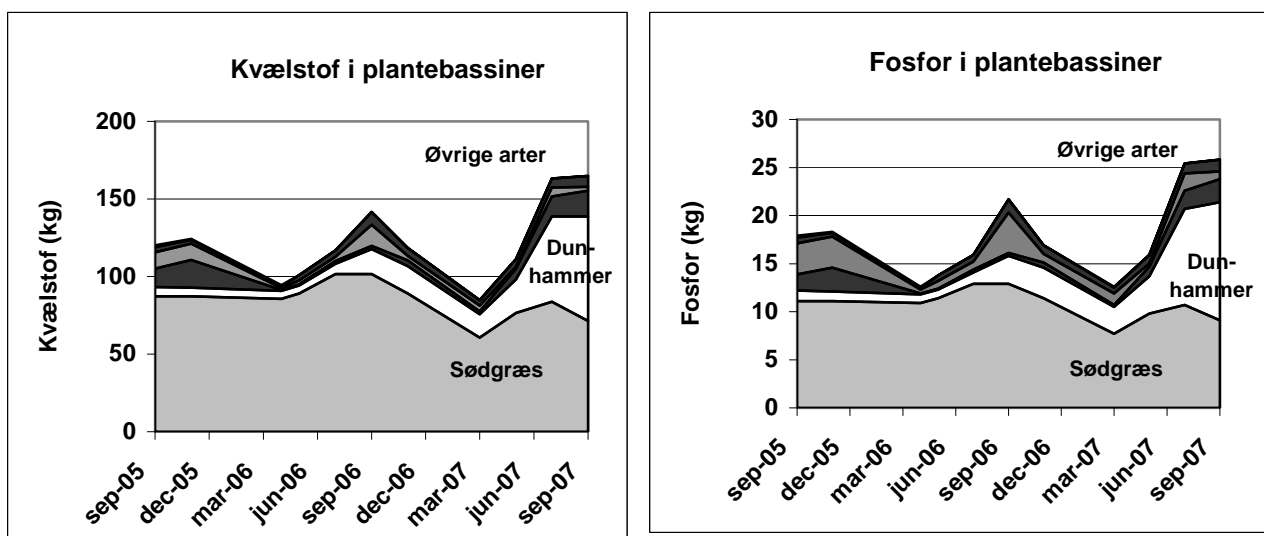
**Figur 32** Planternes forekomst i plantelagunen i Tingkæravad Dambrug udtrykt som plantedækning i % (venstre figur) og som kg tørvægt i hele systemet (højre figur).

Samlet udgør de seks dominerende plantearter i de grødefyldte bassiner 2725-5852 kg (tabel 19) med maksimum i september 2007.

	Tørvægt		Kvælstof		Fosfor	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Hele plantelagunen (kg)	2.725	5.852	94	165	13	26
Gns. Plantelagune, g pr. m <sup>2</sup>	671	1.441	23	41	3,2	6,4

**Tabel 19** De minimale og maksimale værdier af planternes tørvægt samt indhold af kvælstof og fosfor i plantelagunen i Tingkærvad Dambrug i perioden september 2005 til september 2007. Den minimale og maksimale tørvægt af de seks dominerende plantearter samt planternes indhold af kvælstof og fosfor er også angivet pr. m<sup>2</sup> som gennemsnit for plantelagunen.

Indholdet af kvælstof og fosfor i de seks dominerende plantearter i plantelagunen er vist i figur 33. For kvælstof gælder, at hovedparten er bundet i Sødgræs, men ved periodens afslutning i september 2007 er en relativt betydelig del endvidere bundet i Dunhammer. For fosfor er hovedparten gennem perioden ligeledes bundet i Sødgræs. Ved periodens afslutning i september 2007 er nogenlunde lige store dele dog bundet i Sødgræs og Dunhammer.



**Figur 33** Kvælstof og fosfor bundet i plantebiomassen i de seks dominerende plantearter i plantelagunen ved Tingkærvad Dambrug.

Det skal bemærkes, at grundet forskelligt relativt indhold af kvælstof og fosfor i de enkelte plantearter pr. gram tørstof (jf. tabel 17) vil betydningen af den enkelte planteart ift. bundne mængder kvælstof og fosfor kunne afvige fra den tilsvarende relative fordeling af plantebiomasse.

Set i sammenhæng med massebalancerne i plantelagunen betyder de i planterne direkte bundne næringsstof ikke ret meget. Planterne har derimod mange andre betydende funktioner eksempelvis for sedimentation, vandflow overflade for bakteriel omsætning, ilt forhold, struktur i sediment i bund af plantelagunen m.v..

## 12 Diskussion

I dette kapitel er der en kort diskussion af nogle væsentlige problemstillinger vedrørende måleresultaterne for andet måleår ved Tingkærvad Dambrug som supplerer den diskussion, der er i de enkelte kapitler i statusrapporten. Endvidere foretages der nogle sammenligninger med hovedresultater fra første måleår, således at de overordnede resultater for hele den toårige forsøgsperiode ved dambruget vurderes og diskuteres. Hvor det er fagligt muligt drages konklusioner ift. resultaterne for Tingkærvad Dambrug. Det er ikke hensigten i statusrapporten at gå i dybden for en række resultater, dette sker i den faglige samlerapport for de otte modeldambrug. Sammenligninger med resultaterne fra de andre modeldambrug under forsøgsordningen sker også kun i den faglige samlerapport, der kommer med overordnede, generelle konklusioner og faglige anbefalinger fra forsøgsprojektet.

Første måleår på Tingkærvad Dambrug (år 1) omfatter 16. august 2005 til 15. august 2006 begge dage inklusive, og andet måleår 16. august 2006 til 15. august 2007. I forhold til første måleår er der sket en genberegning af produktionsbidraget, som betyder at de beregnede rensegrader relateret til produktionsbidraget, er blevet justeret ift. første års statusrapport (*Svendsen et al., 2007*).

### Vandforbrug, -flow og opholdstid

Der er i gennemsnit indtaget hhv. 37,2 l/s (år 1) og 38,1 l/s (år 2) eller henholdsvis 26 % og 24 % mindre end indvindingstilladelsen. Vandhastigheden internt i produktionsenhederne har i gennemsnit været ca. 7 cm/s år 1 og 10 cm/s år 2 i begge produktionsenheder. Det interne flow har for de to produktionsenheder i alt været ca. 1.100 l/s (år 1) og ca. 1.270 l/s (år 2) svarende til recirkuleringsgrader på henholdsvis 96,6 og 97,0 %. For modeldambrug type III er forudsat en recirkuleringsgrad på mindst 95 %. Vandforbruget er med hhv. 3.730 l (år 1) og 2.800 l vand (år 2) pr. kg produceret fisk i de to måleår reduceret med i gennemsnit en faktor 15 sammenlignet med traditionelle gennemstrømningsanlæg. Sammenlignet med tidligere tilladt vandindtag er reduktionen ca. en faktor 20.

Plantelagunen tilføres i begge måleår i gennemsnit knap 34 l/s mens der fra plantelagunen løber henholdsvis 41 l/s (år 1) og godt 37 l/s (år 2). Der er ikke vandtab over produktionsanlægget, idet 3-4 l/s af vandindtaget går til et sættefiskeanlæg som ikke er en del af modeldambruget og hvis udledninger nedsiver og i princippet ikke afstrømmer til modeldambruget. Der er en nettotilførsel af vand over plantelagunen på i gennemsnit 7,4 l/s (22 %) første måleår men kun på 3,5 l/s (10 %) i det andet via bund/sider i de tidligere jorddamme og bundfældningsbassiner. Denne tilførsel er overordnet set relativ konstant men dog svagt faldende hen over de to måleår (figur 11 kapitel 5) uagtet at der faldt 67 % mere nedbør (ca. 400 mm) i andet måleår. Indsivning antages at stamme fra en eller flere af de mange kildevæld, der er i ådalen og af øvre grundvand. Endvidere sandsynliggøres i første års statusrapport (*Svendsen et al.,*

2007) at en del af det vand, der nedsives fra sættefiskeanlægget formentlig siver ind i plantelagunen.

Med det indsvivende vand til plantelagunen følger opløste stoffer som ammonium, orthofosfat og opløst organisk stof samt evt. meget små partikler. Det betyder, at den målte stoftilførsel til plantelagunen især i første måleår er underestimeret. Det har ikke været formålet at måle på ind- og udsivning ift. plantelagunerne, men ved beregninger af stofomsætning/stoftilbageholdelse i plantelagunen er der ved en konservativ betragtning søgt taget højde for netto indsvivningen af vand, især for at sikre, at der kan ske en bedre sammenligning af de to måleår og fordi der ellers i første måleår mangler stoftilførsel til plantelagunen (*Svendsen et al., 2007*). Hvis der ikke tages højde for den faktiske stoftilførsel der følger med nettovandtilførslen, underestimeres rensegraderne over plantelagunen og modeldambruget. Det vil være forventeligt, at der sker en vis reduktion i infiltrationskapaciteten efterhånden som der ophobes fine partikler i den øvre del af sand- og grusaflejringerne under plantelagunen, således at denne med tiden får et reduceret vandindsvivning via bund og sider.

I den faglige samlerapport vil der på tværs af dambrugene blive givet en vurdering af betydningen af stoftab/stoftilførsel grundet netto ud-/indsvivning for de beregnede rensegrader og stoftabet.

Opholdstiden i produktionsanlægget har i gennemsnit været ca. 31 timer begge måleår. *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* forudsætter en opholdstid på mindst 18,5 timer i produktionsanlægget. Med en samlet opholdstid på 52-53 timer i de to måleår over hele dambruget vil man kunne forvente at en relativ stor del af det let omsættelige organiske stof (BI<sub>5</sub>) når at blive omsat på dambruget (*Fjorback et al., 2003*).

### **Planlelaguner**

Den hydrauliske belastning af plantelagunerne på 0,008 l/s pr. m<sup>2</sup> plantelagune er ca. en tredjedel af den maksimalt tilladte belastning (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*). Opholdstiden på 22 timer i plantelagunen er relativt ikke så lang, hvorfor opholdstiden i plantelagunen således godt kunne øges for at sikre tilstrækkelig tid til de omsætningsprocesser, der sker i plantelagunerne og det vil formentlig også kunne øge sedimentationen af partikler. Den beregnede opholdstid i plantelagunen er beregnet som gennemsnit for de to måleår, men der kan naturligvis lokalt være variationer i opholdstiden, afhængig af hvor vand tilledes denne.

De enkelte damme er gravet sammen, således at plantelagunerne i princippet er flere parallelt løbende vandløbssystemer, hvor der er sikret et vist flow igennem disse. Der har fra starten været tilstedeværelse af planter og samtidig har den relativt lave vanddybde sikret en vis vandhastighed, således at der ikke har været basis for en opblomstring af trådalger i foråret, som aldrig har haft en dækning på over 8 %.

Fra starten af første måleår (august/september 2005) var der en høj plante-dækningsgrad og biomasse i de jorrdamme og gamle kanaler, som plantelagunen består af. Der sker en vis tilvækst i plantebiomassen, således at der er højere dækningsgrad og biomasse i 2. måleår både vinter og

sommer. De relativt milde vintre medfører, at en større del af planterne overvintrer og kan etableres på et stadigt større areal. Generelt er dækningsgrad og biomasse størst i perioden juni-november. Biomassen for de 6 dominerende plantearter har mindst været 2.725 kg (vinteren 2005/06) og maksimalt 5.582 kg (september 2007), svarende til ca. 670 gram pr. m<sup>2</sup> ved minimum og ca. 1.440 gram pr. m<sup>2</sup> ved maksimal plantedækning. Minimum optræder typisk først efter en længere kold periode, gerne sent på vinteren og i marts, men flere arter "overvintrer" i plantelagunen, især Sødgræs og i andet måleår også Liden Andemad. Der er registreret 19 plantearter, hvor Sødgræs har domineret med 34-57 % dækning. Liden Andemad har relativ stor dækning om sommeren, op til ca. 40 %. Vandstjerne, Dunhammer, Brøndkarse og Vandpest har tilsammen ca. 6 % dækning i vinterperioden mod 15-18 % i september. Dunhammer får gradvist større betydning især ift. tørvægt, hvor den i sommeren/efteråret 2007 når næsten 3.200 kg ud af samlet plantemængde på 5.852 kg. Vægtmæssigt dominerer Sødgræs dog det meste af måleperioden med 2.000-3.000 kg. Ingen af de øvrige arter når på noget tidspunkt over godt 300 kg.

Baseret på bestemmelse af indholdet af kvælstof og fosfor i de seks mest forekommende plantearter (Sødgræs, Dunhammer, Brøndkarse, Vandpest, Liden Andemad og trådalger) er det beregnet, at på det tidspunkt hvor biomassen er størst i plantelagunen i 2007, har planterne akkumuleret ca. 165 kg kvælstof (godt 41 g N pr. m<sup>2</sup>) og ca. 26 kg fosfor (6,4 g P pr. m<sup>2</sup>). Sødgræs og Dunhammer (hhv. 33 og 21 g N pr. kg tørstof) indeholder relativ små mængder kvælstof pr. gram tørstof sammenlignet med de øvrige plantearter i plantelagunen (gennemsnit ca. 50 g N pr. gram tørstof). Ift. fosfor er det Vandpest der har højst indhold (14,8 g P pr. gram tørstof) og Sødgræs det laveste indhold (4,2 g P pr. gram tørstof), hvor niveauet i de resterende arter er ca. 8 g P pr. gram tørstof. Senere i dette kapitel sammenholdes disse tal med den samlede fjernelse/tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i plantelagunerne for at kvantificere planternes begrænsede betydning for selve massebalancen. Det skal dog erindres, at planterne desuden danner overflade for de organismer, der omsætter bl.a. nitrat, ligesom planterne er med til at tilbageholde partikler og stabilisere aflejret materiale i bunden af plantelagunen.

### **Foder og produktionsbidrag**

I det første måleår har Tingkærvad Dambrug med anvendelse af godt 279,9 tons foder haft en produktion på 313,3 tons fisk (inkl. døde) i produktionsanlægget og opnået en god foderkvotient på 0,896. I andet måleår er anvendt 375,6 tons foder og produceret 427,3 tons fisk med en foderkvotient på 0,879. I første måleår er anvendt knap 79 % af miljøgodkendelsens fodertilladelse og i andet måleår godt 5 % mere end denne. Den lavere foderkvotient andet år kan ud over usikkerhed på beregningerne tilskrives fodertypeskift samt en tilegning af yderligere erfaring med drift af anlægget, f.eks. biofilter, slamhåndtering, optimering i brug af hjælpestoffer, optimering af automatisk foderanlæg m.v.

Produktionsbidraget for første år er genberegnet, da det gennemsnitlige indhold af kvælstof og fosfor i regnbueørred er blevet revideret ud fra resultater og litteraturstudier. Der anvendes nu lidt lavere værdier end anvendt i Dambrugsbekendtgørelsen, idet der er regnet med 2,75 % kvælstof af fiskens totale vådvægt for hel fisk på 300-1000 gram (mod



hidtil anvendt 3 %) og tilsvarende for fosfor 0,43 % mod hidtil 0,5 %. Justeringerne giver en mindre stigning i produktionsbidraget ift. de oprindeligt opgivne værdier i rapporten for første måleår (*Svendsen et. al., 2006*), hvilket også betyder, at de beregnede rensgrader stiger lidt.

Endvidere er produktionsbidraget for organisk stof (BI<sub>5</sub> og COD) også opjusteret ift. rapportering af førsteårs-resultaterne. Nye undersøgelser, foretaget på de mest anvendte fodertyper, af det stofbidrag/-tab, der sker direkte til vandfasen som opløst eller finpartikulært og derfor ikke indgår i den partikulære fækaliedel, har vist, at der oveni tabet med bundfældeligt/partikulært stof (fækalier) skal tillægges 43,5 % som mål for bidraget som opløst/finpartikulært stof.

Produktionsbidraget, der er baseret på foderanalyser af næsten alle batches og fordøjelighedsforsøg på en række af de mest anvendte fodertyper, er beregnet for ammonium-kvælstof, total-kvælstof, total fosfor, BI<sub>5</sub> og COD. Selv om konkrete målinger af foderspild under forsøgsprojektet bl.a. på Tingkærvad Dambrug har vist, at dette er minimalt ved normal drift, er det sat til 1 % for tab med støv og smuld og et antaget, mindre spild f.eks. ved unormale driftsforhold.

Produktionsbidraget er som ventet klart hovedkilden for stoftilførsel til dambruget. Stoftilførsel med indtagsvandet udgør kun 4-5 % for BI<sub>5</sub>, ammonium og for total fosfor samt 8-9 % for COD i begge måleår, mens det udgør hhv. 8 % (år 1) og 5 % for total kvælstof af den samlede stoftilførsel til Tingkærvad Dambrug.

### **Stofkoncentrationer**

Tingkærvad Dambrug har været målt med intensivt program begge måleår, hvorfor der kan skelnes mellem koncentrationsforholdene i de to produktionsenheder. De markant højeste koncentrationer og største variationer heri findes i slamvandet ved tømning af slamkegler, undtagen for nitrat-nitrit kvælstof med koncentration tæt på 0. Den lave nitrat-nitrit koncentration skyldes især, at der ikke akkumuleres ret meget heraf i slamkeglerne og det, der måtte blive akkumuleret, kan denitrificeres. I Tingkærvad Dambrug tømmes slamkeglerne med en støvsuger, og det ser ud til at denne slamfjernelse sker med begrænset mængde medfølgende vand. Der er ligeledes ret høje koncentrationer, dog betydeligt lavere end ved slamkegletømning, i skyllevandet fra biofiltrene. Dog er koncentrationen af ammonium på niveau med og nitrat-nitrit kvælstof lavere end nedstrøms biofiltret i produktionsenhederne. Koncentrationerne i klaringsvandet fra slambassinerne er også høje for de fleste parametre, undtagen for nitrat-nitrit kvælstof, hvor koncentrationen er meget lav, idet der er en stor denitrifikation i slambassinerne. For alle målepunkter under et har den relative variation i koncentrationerne været noget lavere i andet måleår for alle målte kemiske komponenter.

Dette kan dels tilskrives, at der i første måleår var en vis fiskebestand i den ene produktionsenhed (2) og meget få fisk i den anden, som gradvist blev opbygget i løbet af år 1, og dels øget driftserfaring, der er med til at optimere og stabilisere driftsforholdene i andet måleår. Det fremgår også at koncentrationen af de forskellige stoffer starter på et højere niveau i produktionsenhed 2 i måleår 1, hvor der væsentligt flere fisk ved måleårets start end i produktionsenhed 1. Derfor sker der også en gradvis

koncentrationsforøgelse af de forskellige stoffer i de to produktionsenheder, mest i produktionsenhed 1, der starter med den mindste fiskebestand.

Koncentrationen i udløbet fra dambruget har for alle stoffer været højere i andet måleår på nær total fosfor og  $\text{BI}_5$ , der har været lig med eller lidt lavere. Især total kvælstof har haft en højere koncentration med i gennemsnit 8,3 mg/l år 2 mod 6,5 mg/l i år 1. Foderforbruget har også været 34 % højere i andet måleår, ligesom vandforbruget pr. kg produktion var noget mindre.

Overordnet har koncentrationsudviklingen været temmelig ens nedstrøms biofiltret i de to produktionsenheder. Produktionsenhed 1 starter grundet lavere fiskebestand ved starten af måleprogrammet på et lavere niveau og har generelt en tendens til også i år 2 at have lidt lavere koncentrationer. Biofiltrenes evne til at omsætte ammonium og  $\text{BI}_5$  etableres efterhånden som der opbygges bakteriekulturer, hvorfor den gradvise opbygning af fiskebestanden har været hensigtsmæssig. Koncentrationerne har overordnet set været højere i andet måleår, hvor det største foderforbrug er forekommet. Generelt er koncentrationen størst om sommeren for de fleste kemiske parametre når udfordringen er størst, dog måles de højeste fosforkoncentrationer i forårsperioden. Og suspenderet stof og organisk stof udviser ikke ret meget årstidsvariation i produktionsenhederne. I andet måleår synes driftsforholdene at have været relativt ens i de to produktionsenheder. Ammonium-kvælstof har varieret en del, mest i produktionsenhed 2 mellem godt 1 og helt op til 11 mg/l med tendens til laveste værdier i vinterhalvåret (typisk 1-5 mg/l) og højeste om sommeren (4-10 mg/l). pH har stabilt ligget på ca. 7,4 i begge produktionsenheder og dermed ikke været hæmmende for nitrifikations-processen. En forbedret beluftning af biofiltrene har efterfølgende vist at være fremmende for nitrifikationen på Tingkærvad Dambrug.

Koncentrationen af ammonium, total kvælstof og total fosfor i klaringsvandet er større i andet måleår end i første og der er en gradvis stigning i koncentrationerne i løbet af første måleår som forbliver på et mere stabilt relativt højt niveau andet måleår. Koncentrationerne er størst sen forår/sommer. Koncentrationen af organisk stof og suspenderet stof i klaringsvandet varierer en del, men er stigende gennem det meste af første måleår indtil medio sommeren 2006, hvorefter der er et kraftigt fald til januar 2007, i januar-februar 2007 er en markant koncentrationsstigning og faldende koncentration hen over sommeren 2007. For disse stoffer er koncentrationen lavere i andet måleår i klaringsvandet og koncentrationen er klart lavest i vinterhalvåret. Nitrat-nitritkoncentrationen er stort set nul grundet denitrifikation, hvor nitrat omsættes til frit kvælstof der afgasser, og en mindre dannelse af ammonium kvælstof der løber i plantelagunen med klaringsvandet.

I afløbet fra dambruget er koncentrationen for alle parametre på nær nitrat-nitrit kvælstof højere i andet måleår og formentlig relateret til det øgede stofinput fra produktionsenhederne og med klaringsvandet, I første måleår stiger koncentrationen for disse stoffer gennem det meste af første måleår til et maksimum i sommeren 2006 og er generelt på et højere koncentrationsniveau i andet måleår med maksimum i sommerperioden. Ammonium starter på et relativt højt koncentrationsniveau i første måleår og falder frem til sommeren 2006 for at stige i vinterperioden og

varierte i modfase med nitrat-nitrit-kvælstof koncentrationen. Dette koncentrationsforløb sker trods en svagt stigende tilførsel af ammonium kvælstof gennem hele første måleår, men afspejler dels opbygning af bakterikulturer dels driftsrutiner.  $\text{BI}_5$ - koncentrationen viser kun en mindre stigning over første måleår og er ligesom COD- og suspenderet stof ret stabil i 2. måleår dog med en tendens til højeste koncentrationer i sommerhalvåret, hvor stoftilførslen også er højest. Tilsyneladende kan hovedparten af det tilførte  $\text{BI}_5$  omsættes i plantelagunen, således ses der ikke de store variationer i koncentrationen i udløbet fra dambruget.

I første måleår er der netto tilført 22 % vand ved indsivning til plantelagunen mod 10 % andet måleår. De tilførte stofmængder ved netto indsivning er meget beskedne; kun ganske få procent af tilførslen fra produktionsanlægget, hvis det antages at koncentrationen i det indsivende vand er lig med indtagsvandets. Indsivningen kan under denne antagelse således alene betinge en vis fortynding, men ikke til noget væsentligt stofinput til plantelagunen.

Koncentrationerne i indtagsvandet er meget stabile begge måleår for de fleste kemiske parametre, kun for  $\text{BI}_5$  og suspenderet stof er der en mindre variation. Der er ingen trends i koncentrationen over den samlede måleperiode.

### **Stofudledning pr. kg produceret fisk**

Det målte netto stoftab i g pr. kg fisk har for ammonium-kvælstof været henholdsvis 17,8 (år 1) og 16,6 og for total kvælstof hhv. 23,7 og 20,8 (dvs. fraset ammonium 5,9 hhv. 4,2) og dermed ca. 3-4 gange større end, hvad der blev bestemt for Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*). Der er en mindre reduktion fra første til andet måleår ift. udledning af ammonium og total kvælstof. Det målte stoftab til vandløbet af total fosfor (2,0 hhv. 1,4 g kg fisk) og  $\text{BI}_5$  (5,3, hhv. 2,6 g pr. kg fisk) er til gengæld væsentligt lavere end der blev fundet ved Døstrup Dambrug. Nettoindsivning over plantelagunen på 22 % i første måleår og 10 % i andet tilfører i et eller andet omfang opløst stof hertil, som alt andet lige bidrager til at de målte udledninger bliver højere og dette vil blive tilskrevet fiskeproduktionen, således at de angivne værdier for stofudledning må anses som maksimal værdier. Anvendes de stofkoncentrationer der er målt i friskvandindtaget til produktion, så er dette stofbidrag dog yderst beskedent, og vil kun reduceres stoftabet pr. kg fisk i andet måleår med op til maksimalt henholdsvis 0,01 kg  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 0,2 kg N, 0,02 kg P, 0,3 kg  $\text{BI}_5$  pr. kg fisk og med ca. det dobbelt i første måleår. Der er dog indikationer på at noget af det vand, der netto indsiver til plantelagunen kan stamme fra det vand der nedsives fra sættefiskeanlægget og det vil kunne indeholde højere koncentrationer af ikke mindst fosfor end der er i friskvandet, men der har ikke været mulighed for at måle på dette. Det kan bidrage til at forklare, at fosforrensegraderne ikke er højere end de er målt. Samtidig har foderets fosforindhold i 2. måleår været lavere end i første, hvilket også er forklaring på, at selv om rensegraden over hele dambruget for fosfor andet måleår er lidt lavere end i det første, så er nettoudledningen af fosfor pr. kg fisk lavere andet måleår.

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelse for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t  $\text{BI}_5$ , 1.119 t total kvælstof og 90 t total fosfor ved en produktion på 29.434 t ørreder. Heraf kan beregnes nogle gennemsnitlige speci-

fikke udledninger til sammenligning med, hvad der er fundet på Tingkærvad Dambrug (tabel 20).

	Gennemsnit Danmark	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)		Tingkærvad Dambrug i % af gennemsnit DK	
		Tingkærvad Dambrug	Tingkærvad Dambrug	1. måleår	2. måleår
		- 1. måleår	- 2. måleår		
Organisk stof	105,3	5,3	2,6	5,0	2,5
Total-N	38,0	23,7	20,8	62	55
Total-P	3,1	2,0	1,4	65	45

**Tabel 20** Specifikke udledninger netto som gennemsnit for ferskvandsdambrug i Danmarks (i 2003) og målte specifikke udledninger for Tingkærvad Dambrug i første og andet måleår. I sidste kolonne er de specifikke tab ved Tingkærvad Dambrug angivet i procent af gennemsnittet for ferskvandsdambrug i Danmark.

Der renses meget effektivt for organisk stof på Tingkærvad Dambrug selv om opholdstiden i plantelagunerne er på knap et døgn og godt to døgn over hele dambruget. Den specifikke, målte udledning af total kvælstof og total fosfor er i år 2 ca. ½-delen af gennemsnittet for ferskvandsdambrug i 2003 og det er som omtalt maksimale værdier; de faktiske specifikke tab har formentlig været lidt mindre. På Tingkærvad Dambrug bør nitrifikationen i produktionsenhederne og evt. i separat, efterfølgende biofilter forbedres. Herved vil nitratindholdet blive øget, og eventuelt gøre et specifikt denitrifikationsfilter relevant. Plantelagunens kvælstofsfjernelses egenskaber vil dog formentlig også forøges, dette kan eventuelt accentueres via længere opholdstid.

### Stoffjernelse, rensegrader og vandtab

De forskellige renseforanstaltninger har forskellig effektivitet ift. til de forskellige stoffer, der tilføres, hvorfor den andel af stoftilførslen til dambruget, som via afløbet fra dambruget tabes til Vejle Å, er ret forskellig. Således udledes hele 47 % af det tilførte ammonium-kvælstof i første måleår og 43 % i det andet til Vejle Å og de tilsvarende værdier for total kvælstof er hhv. 55 og 49 %. Der udledes tilsvarende 30 % (år 1) og 28 % (år 2) af total fosfor tilførslen. Til gengæld er der en lav andel af stoftilførslen af organisk stof, der når Vejle Å: kun 9 % (år 1) og 6 % (år 2) af BI<sub>5</sub> tilførslen samt 20 % (år 1) og 17 % (år 2) af COD-tilførslen. Samlet set er den andel af stoftilførslen, der tabes til Vejle Å faldet for alle stoffer i år to trods øget foderforbrug. Næsten 82 % af den fosfor, som udledes er på opløst og dermed biotilgængelig form. En mindre andel af tilførslen til Vejle Å stammer fra det indtagne vand, som ellers alligevel ville være nået frem til vandløbet længere nedstrøms.

Som omtalt er Tingkærvad Dambrugs udledning påvirket af, at der har været en nettoindsivning af vand til plantelagunerne på 22 % år 1 og 10 % år 2 af tilførslen hertil. Der er i rapporten lavet et estimat på betydningen af denne stoftilførsel ved at antage, at den kemiske sammensætning i indsivningsvandet svarer til den målte koncentration i indtagsvandet til produktionen. Dette giver en meget begrænset mertilførsel af stof til plantelagunen især år 2, som kun ændrer rensegraderne over plantelagunerne meget lidt. De beregnede rensegrader over plantelagunen (se senere) er for bl.a. ammonium kvælstof og opløst fosfor negative, hvilket indikerer, at stoftilførslen med nettoindsivningen reelt er højere end estimatet baseret på koncentrationer i indtagsvandet til produktionen.

Som omtalt antages det, at noget af nedsivningsvandet fra dambrugets sættefiskeanlæg indsiver i plantelagunen, dvs. en indsivning med højere koncentrationer end i indtagsvandet til produktionen. Det har været udenfor projektets rammer at undersøge dette, men samlet betyder det, at de angivne samlede rensegrader over dambruget og over plantelagunen er absolutte minimumsværdier og at det angivne procentuelle stof-tab til Vejle Å af tilført stof samtidigt er maksimumsværdier.

De opnåede, målte nettorensgrader (dvs. stoffjernelsen relateret til produktionsbidraget) over hele Tingkærvad Dambrug har for  $\text{BI}_5$  været hhv. 93 % (år 1) og 97 % (år 2) og dermed langt over forudsætningerne for modeldambrug (*Bekendtgørelse for modeldambrug, 2002*) på 75 % for et modeldambrug type III uden mikrosigter. Renseforanstaltningerne for organisk stof har således været særdeles effektive. For total fosfor har rensegraden med hhv. 64 % (år 1) og 61 % (år 2) ligget lidt over bekendtgørelsens forudsætning på 60 %. Som omtalt er de beregnede rensegrader minimumsværdier, da der i år 1 har været en netto indsivning til plantelagunen på 22 % og i år 2 på 10 %, og det antages, at noget af indsivningsvandet kan være nedsivningsvand fra sættefiskeanlægget, hvorfor især fosforrensegraden kan være lidt til noget underestimeret. For total kvælstof har nettorensgraden på hhv. 42 % (år 1) og 47 % været noget over forudsætningerne i bekendtgørelsen, da den med de ca. 4.060  $\text{m}^2$  plantelagune er forudsat til ca. 20 % fjernelse af produktionsbidraget. Den samlede rensegrad for ammonium stiger også lidt fra første måleår (48 %) til det andet (51 %). En øget beluftning af biofiltrene evt. kombineret med ændret driftspraksis vil antageligvis kunne øge nitrifikationen i biofiltrene. Dette vil reducere ammonium- og øge nitrat-tilførslen til plantelagunen.

I det andet måleår fjernes mellem 57 og 94 % af det ammonium kvælstof, total fosfor og organiske stof, der tilføres dambruget via indtagsvandet og produktionsbidraget, mod 51 % af total kvælstoffet. Sammenlignet med første måleår er den procentuelle fjernelse 2-6 % højere for alle stofparametre trods et foderforbrug, der har været 34 % højere. For alle stoffer fjernes procentuelt klart mest i produktionsanlægget, idet alt ammonium kvælstof og 5-7 % mere total fosfor og organisk stof fjernes i produktionsanlægget. For kvælstof fjernes dobbelt så meget kvælstof i produktionsanlægget som over plantelagunen. Potentialet for yderligere stoffjernelse i plantelagunerne er vanskelig at vurdere fuldt ud, da renseforanstaltningerne i produktionsanlægget fjerner en stor del af det stof, som plantelagunerne potentielt kunne fjerne. Trods større tilførsel af stoffer i andet måleår til plantelagunen, er rensegraden heri ikke øget for organisk stof, men til gengæld steget for total kvælstof og total fosfor. Dette tyder på at potentialet for at fjerne mere organisk stof i plantelagunen kun opnås ved at øge opholdstiden i denne. Plantelagunen er relativt beskeden i størrelse og har "kun" en opholdstid på 22 timer, således at en øget opholdstid vil kunne øge fjernelsen af organisk stof. Samtidig skal det dog understreges, at tabet af organisk stof er meget lavt. En forøget opholdstid i plantelagunen må også forventes at forøge denitrifikationen, såfremt nitrifikationen i produktionsenhederne forinden forøges.

Kampagnemålinger af iltkoncentration i plantelagunen viser, at iltniveauet ca. 10 meter nedstrøms indløbet af vand fra produktionsanlægget når under 1-2 mg/l og tilsvarende, at iltindholdet tæt ved bunden af plantelagunen er nær 0 mg/l. Der er således ved bunden af plantelagu-

nerne gode muligheder for denitrifikation grundet de iltfrie forhold, og tilstedeværelsen af nitrat og letomsætteligt organisk stof, mens der i den øvre del af vandmassen i vandet og biofilmen på planterne også foregår en vis aerob omsætning af organisk stof og ammonium-kvælstof. Herudover optager planterne nitrat og opløst fosfor, dette er dog massebalancemæssigt af mindre betydning. Ved maksimal biomasse er det beregnet, at der er indbygget ca. 165 kg kvælstof svarende til 7 % af det totale kvælstof, der fjernes/tilbageholdes i plantelagunen i andet måleår. Tilsvarende er der indbygget knap 26 kg fosfor ligeledes svarende til godt 11 % af tilbageholdt fosfor. Da der sker både tab og opbygning af biomasse gennem vækstsæsonen er dette et minimumsmål for optagelsen af kvælstof og fosfor i planterne, men der vil kun være tale om en reel tilbageholdelse, hvis plantematerialet høstes og biomassen fjernes fra plantelagunen. Betydningen af næringsstofoptaget i planter er lavere end målt på Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*).

Generelt fjerner renseforanstaltningerne i produktionsanlægget meget fosfor og organisk stof, men en del af det tilbageholdte stof tabes med klaringsvandet, hvorfor det vil være af betydning at sikre, at udledninger fra slambassinerne reduceres. Således ledes ca. 39 % af det fosfor, som ellers var ført over i slambassinet fra slamkegletømning og returskylning af biofiltrene, videre over i plantelagunerne med klaringsvandet i år 2. For kvælstof er det 68 % af tilførslen til slambassinet der tabes med klaringsvandet i år 2, fordi en del af nitraten og det partikulære kvælstof, omdannes til ammoniumkvælstof. Til gengæld tabes kun 10-15 % af tilført organisk stof med klaringsvandet. Mængdemæssigt udgør klaringsvandet i andet måleår 9 % for total kvælstof, 12 % for ammonium kvælstof, 47 % for total fosfor og 21 % for  $BI_5$  af den målte stoftilførslen til plantelagunen. Dermed bliver tilførslen med klaringsvandet en ret betydende stoffkilde for plantelagunen for især fosfor. Det er u hensigtsmæssigt at stof, der reelt er fjernet og opsamlet i slambassinerne i så store mængder ledes til plantelagunen, men det skal dog erindres, at det er nødvendigt med en vis tilførsel af organisk stof til plantelagunen for at drive denitrifikationen deri.

Dambruget arbejder med at optimere flere processer; bl.a. håndteringen af slamvand fra slamkegler og returskylning af biofiltre, opsætning af mikrosigter samt efterbehandling af afledninger fra produktionsanlæg.

Plantelagunerne har fuldt ud opfyldt forventninger og forudsætningerne til stoffjernelse på trods af nettoindsivning af vand med tilhørende stoffer, selv om der også er opstrøms renseforanstaltninger. F.eks. har kvælstoffjernelsen med 1,6 (år 1) og 2,3 (år 2) g N pr  $m^2$  pr. dag ligget ca. 2 gange over forudsætningen. For fosfor har raten i år 2 med 0,15 g P pr  $m^2$  pr. dag været ca. 3 gange højere end målt på Døstrup Dambrug. For  $BI_5$  har den med 5,1 (år 1) og 4,6 (år 2) g pr  $m^2$  pr. dag været 2-3 gange højere. De højeste rater er, fraset  $BI_5$ , fundet i andet måleår. Der er negativ tilbageholdelse begge måleår af ammonium kvælstof og af opløst fosfor selv når der tages højde for nettovandindsivning, med anvendelse af de koncentrationer, der er fundet for vandindtaget til produktionen. I indsivningsvandet til plantelagunen formodes koncentration af opløste stoffer derfor at være væsentligt større end i vandindtag til produktion, hvilket betyder, at de estimerede rensegrader og stoffjernelsen pr  $m^2$  plantelagune er minimumsværdier. Det har været en fordel, at der har været etableret en vis plantevækst i plantelagunen fra produktionsstart

og at der været en yderligere tilvækst efterfølgende, men rensegraden kunne formentlig forøges ved at øge opholdstiden i plantelagunen.

Tilledningen af klaringsvand skal optimalt ske så opstrøms som muligt i plantelagunen, hvilket også er tilfældet.

Der er behov for yderligere kvælstoffjernelse, hvis der skal sikres en udvidelse af produktionen uden at øge udledningerne af kvælstof. Den vil kunne ske dels gennem forbedret biofilterdrift, dels gennem efterbehandling af afledt vand fra produktionsanlæg og klaringsvand ved hjælp af særskilte biofiltre med nitrifikation og eventuelt denitrifikation, før tilledning til plantelagunen samt ved at sikre en bedre klaring af slamvand i slambassiner før det afledes til plantelagunen. Endvidere kunne det overvejes at fælde mere fosfor i slambassinet så tab med klaringsvandet reduceres, og rensegraden for total fosfor over dambruget dermed øges.

### **Udlederkrav**

Vejle Amt har i miljøgodkendelsen forlangt, at der skal udføres en tilstandskontrol på alle parametre efter DS2399 og hvor udlederkravene angives som at koncentrationen i afløbet ved vandets passage gennem dambruget ikke må overstige udlederkravene. Kontrol efter DS2399 er en kontrol alene på udledningerne og udlederkontrollen kan ikke gennemføres for de tilfælde, hvor koncentrationen i indtagsvandet er større end i afløbet fra dambruget. Derfor er kontrol efter DS2399 alene lavet på koncentrationen i udledningerne. Der er derfor også lavet en sædvanlig udlederkontrol, som angivet i Bekendtgørelse om modeldambrug, men med tilstandskontrol for alle parametre.

Udlederkontrol lavet som angivet i Bekendtgørelse om modeldambrug viser, at dambruget i det første måleår overholder alle udlederkrav på nær for ammonium-kvælstof, hvor kravværdien er 5,39 og kontrolværdien 5,44, dvs. en meget minimal overskridelse på 1 %. I andet måleår overskrides udlederkravet for ammonium kvælstof, idet udledningen er 126 % ift. udlederkravet og også for total kvælstof, hvor udledningen var 107 % af kravet mod 81 % i første måleår. De øvrige udlederkrav er klart overholdt for suspenderet stof og  $BI_5$ , mens total fosfor har ligget på henholdsvis 94 % (år 1) og 85 % (år 2) af kravværdien. Foderforbruget har været 34 % højere i andet måleår, og kan, sammen med biofilterdriften, være medvirkende til større udledninger af ammonium og total kvælstof fra dambruget på henholdsvis 27 % og 17 %. I andet måleår har variationen i udlednings-koncentrationen af ammonium og total kvælstof været mindre.

De beregnede udlederværdier og de faktiske udledninger af suspenderet stof, total fosfor samt  $BI_5$  er alle faldet i andet måleår trods øget foderforbrug. Dette skyldes bl.a. bedre stoftilbageholdelse af fosfor i plantelagunen, mindre fosfor i foder og øget tilbageholdelse af organisk stof i slambassin.

Alle kravværdierne er i miljøgodkendelsen skærpet med 7 % ift. Dambrugsbekendtgørelsens kravværdier med fuld kompensation for reduktion i vandforbruget ift. tidligere drift. Ved fuld kompensation ville de beregnede udlederværdier for ammonium kvælstof ligge over udlederkravet og for total kvælstof ligge lige på udlederkravet.

Den manglende overholdelse af tilladelsens udlederkrav for især ammonium-kvælstof viser, at ved den aktuelle drift og det aktuelle foderforbrug fjerner dambrugets renseforanstaltninger for lidt af især ammonium kvælstof. Kvælstof er den kritiske parameter ift. modeldambrugene under forsøgsordningen, fordi der ved fodertildelingen er set bort fra kvælstof som begrænsende faktor under forsøgsordningen (*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002) og Pedersen et al. (2003)*). Det er vigtigt via drift og indretning at sikre en tilstrækkelig fjernelse af kvælstof, ikke mindst på ammonium-form, i såvel produktionsanlægget som med klaringsvandet fra slambassinet, for at bevare den tildelte foderkvote under forsøgsordningen eller for den sags skyld at kunne få den forøget. For Tingkærvad Dambrug vil det også være hensigtsmæssigt at se om man kan øge tilbageholdelse af fosfor, hvor især tilbageholdelsen over slam-tank/slambassin kunne forøges. En stor del af det tilførte fosfor til slam-tank/-bassin ledes retur med klaringsvandet til lagunerne. Det er også uklart, om der med nettoindsivningen til plantelagunen tilføres mere fosfor end hvad der kan forventes alene ud fra koncentrationen i indtagsvandet til dambruget. Til gengæld er der slet ingen problemer med at overholde udlederkravene for det vandløbskritiske organisk stof trods højt foderforbrug i andet måleår.

### Vandløbsfauna

Målsætningen i Vejle Å (DVFI = 5) opstrøms og nedstrøms Tingkærvad Dambrug har ikke været opfyldt ved alle prøvetagninger i perioden maj 2004 – oktober 2007, hvor DMU og først Vejle Amt, siden Vejle Kommune, har taget prøver. To ud af elleve gange i perioden er DVFI kun 4 opstrøms dambruget og 5 fem gange og 6 to gange. På strækningen nedstrøms Kobbervad Dambrugs udløb - men opstrøms Tingkærvad Dambrugs udløb - ud for dambruget (inden afløbet fra Tingkærvad Dambrug) er DVFI 4 ti gange og 5 en gang (juni 2006), mens den nedstrøms afløbet fra begge dambrug er 3 to gange, 4 fem gange og 5 fire gange. Der kan ikke påvises nogen udvikling i DVFI hen over perioden. Prøvetagningsstrækningen opstrøms har en god fysisk kvalitet med et indeks på 30-41, strækningen ud for dambruget og nedstrøms begge har moderat fysisk kvalitet (hhv. indeks 22-26 og 24-29).

DMU har registreret i alt 67 forskellige arter/taxa på de tre prøvetagningsstrækninger, hvor de mest artsrige er vårfluer (16 arter/taxa), biller (6), slørvinger (6) og dansemyg (5). Ferskvandstangloppen *Gammarus pulex*, døgnfluer af slægten *Baetis*, dansemyg fra grupperne Orthocladiinae og Tanytarsini, børsteorme Oligochaeta, vandbænkebidderen *Asellus aquaticus* og kvægmyg Simuliidae har generelt været talrigt forekommende ved prøvetagningerne hen gennem perioden. De 6 faunagrupper udgør samlet 67-96 % af det totale individantal i prøverne i perioden. En række rentvandsarter som sneglen *Ancylus fluviatilis*, slørvingerne *Brachyptera risi*, *Amphinemura standfussi* og *Leuctra spp.*, billen *Elmis aenea* og vårfluerne *Rhyacophila spp.*, *Brachycentrus subnubilis*, *Silo pallipes* samt *Sericostoma personatum* er fundet fåtalligt i prøverne. Den eneste rentvandsart, der er fundet forholdsvis talrigt, er døgnfluen *Seratella ignita* der optræder relativt hyppigt i prøver fra sommerperioden, men den er dog en af de mest tolerante rentvandsarter. Samlet må faunaen på alle tre stationer i Vejle Å betragtes som domineret af forureningstålende arter, og de mest udprægede rentvandsarter er kun fundet yderst fåtalligt.



Der er ikke nogen entydig tendens gennem måleperioden mod lavere individtal for de forureningstålende arter. Dette gælder både op- og nedstrøms for Tingkærvad Dambrug. Tolkning af effekten af udledningen fra Tingkærvad Dambrug i Vejle Å vanskeliggøres i betydeligt omfang af, at vandløbet generelt er noget belastet fra andre forureningskilder. Endvidere er en spærring i Vejle Å opstrøms Tingkærvad Dambrug ved starten af 1. måleår blevet fjernet. Det har forbedret faldforholdene opstrøms dambruget og givet anledning til øget sandtransport nedstrøms for stryget og i en periode aflejring af sand i vandløbet nedstrøms Tingkærvad Dambrug.

## 13 Litteraturliste

*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002).* Bekendtgørelse om modeldambrug. 10 s. - BEK nr. 923 af 08/11/2002 pp.

*Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004).* Bekendt om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug. 2 s. - BEK nr. 328 af 15/03/2004.

*Dambrugsudvalget (2002).* Dambrugsudvalget. Udvalget vedr. dambrugs-erhvervets udviklingsmuligheder. 78 s. Rapport. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

*Dansk Standard (1999).* DS 2399 Afløbskontrol. Statistisk kontrolberegning af afløbsdata.

*Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2003)* Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

*Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998).* Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Danmarks Miljøundersøgelser. 86 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

*Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998).* Notat vedr. tilpasning af udlederkontrol ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser.

*Miljøstyrelsen (1998).* Biologisk vandløbsbedømmelse af vandløbskvalitet. Miljø- og Energiministeriet. 39 s. - Vejledning nr. 5/1998.

*Pedersen, M. L., Baattrup-Pedersen, A & Wiberg-Larsen, P. (red) (2007).* Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-09. 3. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 150 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 21.

*Pedersen, P.B. Grønberg, O., & Svendsen, L.M. (red.) (2003).* Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe. 82 s. - Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183

*Skriver, J., Riis, T., Carl, J., Friberg, N., Ernst, M.E., Frandsen, S.B., Sode, A. & Wiberg-Larsen, P. (1999).* Biologisk overvågning i vandløb 1998-2003. Biologisk vandløbskvalitet (DVFI). Udvidet biologisk program. NOVANA2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 41 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 16.

*Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S. & Dalsgaard, A.J.T. (2007).* Tingkærvad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. målear af monitoreringsprojektet. 54 s. DFU-rapport nr. 173-07

*Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B. (reds.) (2004).* En undersøgelse af muligheder for etablering af måleprogram på såkaldte modeldambrug. 118 s. - DFU-rapport nr. 132-04, 118 p.

*Thomsen, L., Bo-Holm Andersen, L. (2006).* Udvikling af metoder til opsamling af foderspild i modeldambrug. Speciale på Fiskeriteknologuddannelsen, Aalborg Universitet Esbjerg, juni 2006, 76 pp.

*Vejle Amt (2004).* Miljøgodkendelse af forsøgdambruget Tingkærvad Dambrug (605-16), samt dispensation efter naturbeskyttelsesloven, 49 s.

## DTU Aqua-rapportindex

Denne liste dækker rapporter udgivet i indeværende år samt de foregående to kalenderår. Hele listen kan ses på DTU Aquas hjemmeside [www.aqua.dtu.dk](http://www.aqua.dtu.dk), hvor de fleste nyere rapporter også findes som PDF-filer.

- Nr. 158-06 Østers (*Ostrea edulis*) i Limfjorden. Per Sand Kristensen og Erik Hoffmann
- Nr. 159-06 Optimering af fangstværdien for jomfruhummere (*Nephrops norvegicus*) – forsøg med fangst og opbevaring af levende jomfruhummere. Lars-Flemming Pedersen
- Nr. 160-06 Undersøgelse af smoltudtrækket fra Skjern Å samt smoltdødelighed ved passage af Ringkøbing Fjord 2005. Anders Koed
- Nr. 161-06 Udsætning af geddeyngel i danske søer: Effektivurdering og perspektivering. Christian Skov, Lene Jacobsen, Søren Berg, Jimmi Olsen og Dorte Bekkevold
- Nr. 162-06 Avlsprogram for regnbueørred i Danmark. Alfred Jokumsen, Ivar Lund, Mark Henryon, Peer Berg, Torben Nielsen, Simon B. Madsen, Torben Filt Jensen og Peter Faber
- Nr. 162a-06 Avlsprogram for regnbueørred i Danmark. Bilagsrapport. Alfred Jokumsen, Ivar Lund, Mark Henryon, Peer Berg, Torben Nielsen, Simon B. Madsen, Torben Filt Jensen og Peter Faber
- Nr. 163-06 Skarven (*Phalacrocorax carbo sinensis* L.) og den spættede sæls (*Phoca vitulina* L.) indvirkning på fiskebestanden i Limfjorden: Ecopath modellering som redskab i økosystem beskrivelse. Rasmus Skoven
- Nr. 164-06 Kongeåens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 165-06 A pilot-study: Evaluating the possibility that Atlantic Herring (*Clupea harengus* L.) exerts a negative effect on lesser sandeel (*Ammodytes marinus*) in the North Sea, using IBTS-and TBM-data. Mikael van Deurs
- Nr. 166-06 Ejstrupholm Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 167-06 Blåmuslinge- og Stillehav søstersbestanden i det danske Vadehav efteråret 2006. Per Sand Kristensen og Niels Jørgen Pihl
- Nr. 168-06 Tvilho Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.

- Nr. 169-07      Produktion af blødskaledede strandkrabber i Danmark - en ny marin akvakulturproduktion. Knud Fischer, Ulrik Cold, Kevin Jørgensen, Erling P. Larsen, Ole Saugmann Rasmussen og Jens J. Sloth.
- Nr. 170-07      Den invasive stillehavsøsters, *Crassostrea gigas*, i Limfjorden - inddragelse af borgere og interessenter i forslag til en forvaltningsplan. Helle Torp Christensen og Ingrid Elmedal.
- Nr. 171-07      Kystfodring og kystøkologi - Evaluering af revlefodring ud for Fjaltring. Josianne Støttrup, Per Dolmer, Maria Røjbek, Else Nielsen, Signe Ingvarsdén, Per Sørensen og Sune Riis Sørensen.
- Nr. 172-07      Løjstrup Dambrug (øst) - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 173-07      Tingkærvad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 174-07      Abildtrup Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoreringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 175-07      Nørå Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 176-07      Rens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 177-08      Implementering af mere selektive og skånsomme fiskerier – konklusioner, anbefalinger og perspektivering. J. Rasmus Nielsen, Svend Erik Andersen, Søren Eliassen, Hans Frost, Ole Jørgensen, Carsten Krog, Lone Grønbæk Kronbak, Christoph Mathiesen, Sten Munch-Petersen, Sten Sverdrup-Jensen og Niels Vestergaard.
- Nr. 178-08      Økosystemmodel for Ringkøbing Fjord - skarvbestandens påvirkning af fiskebestandene. Anne Johanne Dalsgaard, Villy Christensen, Hanne Nicolajsen, Anders Koed, Josianne Støttrup, Jane Grooss, Thomas Bregnballe, Henrik Løkke Sørensen, Jens Tang Christensen og Rasmus Nielsen.
- Nr. 179-08      Undersøgelse af sammenhængen mellem udviklingen af skarvkolonien ved Toftesø og forekomsten af fladfiskeyngel i Ålborg Bugt. Else Nielsen, Josianne Støttrup, Hanne Nicolajsen og Thomas Bregnballe.

- Nr. 180-08 Kunstig reproduktion af ål: ROE II og IIB. Jonna Tomkiewicz, Henrik Jarlbæk
- Nr. 181-08 Blåmuslinge- og stillehavsøstersbestandene i det danske Vadehav 2007. Per Sand Kristensen og Niels Jørgen Pihl
- Nr. 182-08 Kongeåens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 183-08 Taskekrabben – Biologi, fiskeri, afsætning og forvaltningsplan. Claus Stenberg, Per Dolmer, Carsten Krog, Siz Madsen, Lars Nannerup og Maja Wall.
- Nr. 184-08 Tvilho Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 185-08 Erfaringsopsamling for muslingeopdræt i Danmark. Helle Torp Christensen, Per Dolmer, Hamish Stewart, Jan Bangsholt, Thomas Olesen og Sisse Redeker.
- Nr. 186-08 Smoltudvandring fra Storå 2007 samt smoltdødelighed under udvandringen gennem Felsted Kog og Nisum Fjord. Henrik Baktoft og Anders Koed.
- Nr. 187-08 Tingkærvad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.